Public Safety and Emergency Preparedness Canada
Sécurité publique et Protection civile Canada

Évaluation du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. et des pratiques associées d'atténuation des risques

Tsunamis et communautés côtières en Colombie-Britannique

Canada

105-06727/

Remerciements

Cette publication a été préparée pour :

Sécurité publique et Protection civile Canada

340, avenue Laurier Ouest, 12e étage
Ottawa, Ontario K1A 0P8
Internet : www.psepc-sppcc.gc.ca

Auteurs :

Peter S. Anderson
Gordon A. Gow
Centre for Policy Research on Science and Technology
School of Communication
Université Simon Fraser
515, rue Hastings Ouest
Vancouver (C.-B.) V6B 5K3

Cette étude est basée sur des travaux appuyés par la Division de la recherche et du développement (DRD) du Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile (BPIEPC), en vertu du contrat portant le n° de référence 2003D001. Le 12 décembre 2003, le Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile a été intégré à un nouveau ministère, Sécurité publique et Protection civile Canada (SPPCC). Tous les résultats, opinions et conclusions ou recommandations exprimés dans ce document sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de Sécurité publique et Protection civile Canada.

© SAMAJESTÉ LA REINE DU CHEF DU CANADA (2004)
N° au catalogue : PS4-13/2004F-PDF
ISBN: 0-662-78435-9

Sommaire

Les tsunamis sont de hautes vagues soulevées par des impacts majeurs avec la surface ou des mouvements soudains des fonds océaniques déplaçant de grands volumes d'eau. L'eau déplacée se propage vers l'extérieur depuis la source et devient un tsunami. Bien qu'ils soient habituellement associés aux séismes, les tsunamis peuvent également être déclenchés par un grand nombre d'autres types de phénomènes dont les glissements sous-marins ou dans les terres, les éruptions volcaniques sous-marines ou dans les terres, les explosions et même les impacts de bolides (p. ex. astéroïdes, météorites, comètes).

Les tsunamis ont causé des dommages énormes et des pertes de vies dans un grand nombre de régions côtières du globe. Ils sont cependant particulièrement menaçants pour les bordures continentales autour de l'océan Pacifique où la fréquence des grands séismes dévastateurs est plus élevée. La côte ouest du Canada est tout particulièrement vulnérable aux tsunamis engendrés par des séismes en raison de la présence de zones de subduction proches et éloignées aux marges du bassin du Pacifique.

La menace que représentent les tsunamis le long de la côte occidentale du Canada a poussé le gouvernement fédéral et le gouvernement de la Colombie-Britannique à s'engager, avec d'autres membres de la communauté internationale, à participer au Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique (SATP). Le système d'alerte aux tsunamis de la Colombie-Britannique est en fait une composante régionale du SATP qui consiste en trois sous-systèmes fonctionnels pour la détection, la gestion des urgences et l'intervention. Ces liens critiques constituent ensemble un réseau de détection et de diffusion à trois niveaux visant à alerter les populations locales le long du littoral de la C.-B. de la menace d'un tsunami possible ou imminent.

La Colombie-Britannique présente une zone côtière d'une très grande étendue aux environnements extrêmement diversifiés et productifs en termes de types d'activités qui peuvent être pratiquées dans un milieu marin tempéré. Malgré cette grande diversité environnementale, la région subit des pressions économiques et environnementales systémiques dont un taux de chômage élevé, une dépendance à l'égard d'industries primaires d'exploitation des ressources en déclin, des demandes accrues en matière de protection de l'environnement, des conflits associés à une gamme croissante d'utilisations et un secteur des services collectifs en régression.

Récemment, plusieurs nouvelles initiatives ont été lancées par les autorités fédérales, provinciales, régionales et locales, par les Premières nations et par des organismes de conservation et du secteur privé afin d'affiner et de diriger la croissance économique dans les régions côtières. Les plus importants des nouveaux secteurs d'activité économique en émergence sont l'aquaculture, les activités récréatives et touristiques et l'exploration pétrolière et gazière extracôtière.

En raison de ces conditions économiques dynamiques que viennent encore compliquer des préoccupations écologiques, le groupe d'intervenants préoccupés par le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. est plutôt imposant et sa composition n'est pas définitive. Dans certains cas, des secteurs en émergence peuvent n'avoir que peu de contacts réguliers avec les responsables du programme d'urgence de la C.-B. (*B.C. Provincial Emergency Program*) et ne pas apprécier

avec justesse le risque que posent les tsunamis pour leurs activités et investissements. Les capacités en matière de liaisons de communications peuvent en outre varier considérablement entre ces secteurs et à l'intérieur d'un même secteur.

Ce sont ces facteurs en évolution qui constituent la trame de la présente étude; celle-ci se veut une évaluation de base du Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B., et des pratiques associées d'atténuation des risques, à la lumière des développements socio-économiques sur les littoraux de la C.-B. et d'après les meilleures pratiques reconnues ainsi que les principes et objectifs clés de la Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes du Canada.

Bien que les tsunamis ne puissent être prévenus, les niveaux de risque peuvent être réduits et parfois même éliminés. Cependant, pour qu'une stratégie d'atténuation des risques découlant des tsunamis soit efficace, il faut un appui à long terme de la part des communautés côtières qui sont les seules à pouvoir mettre en œuvre et à maintenir des programmes locaux et régionaux de préparation en cas de tsunami pourvu que leur soient fournis les outils de planification essentiels et qu'il existe une volonté de sensibilisation et d'engagement des personnes, des entreprises, des intervenants en cas d'urgence et des décideurs gouvernementaux.

Dans la présente étude on a tenté de montrer qu'un système intégré d'alerte aux tsunamis exige de tenir compte d'une gamme étendue de considérations dans chacun des trois niveaux du réseau de diffusion. C'est dans ce contexte que nous offrons un ensemble de conclusions qui pourraient permettre de renforcer des composantes clés du système d'alerte aux tsunamis de la côte ouest du Canada et les pratiques connexes de réduction des risques.

Constatation clé : surveillance et détection

La participation du Canada au Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique assure une capacité de surveillance et d'alerte appropriée pour les télétsunamis (tsunamis en champ lointain) touchant la côte de la C.-B. Une alerte efficace aux tsunamis locaux reste problématique.

Conclusions

Il est nécessaire :

- de maintenir et renforcer lorsque possible les engagements internationaux du Canada envers le Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique;
- d'envisager le déploiement d'une nouvelle technologie des communications lorsqu'elle permet des améliorations identifiables des actuelles activités de premier niveau;
- de commencer à élaborer une stratégie d'alerte et d'avertissement pour les tsunamis locaux dans toute la région côtière de la C.-B.

Constatation clé : gestion des urgences

Les actuelles capacités de cartographie des zones inondables et les efforts connexes d'atténuation sont principalement concentrés dans des communautés choisies de l'île de Vancouver.

Conclusions

Les activités de cartographie des zones inondables doivent :

- être étendues à toutes les régions côtières peuplées et économiquement importantes menacées de la C.-B;
- être institutionnalisées en vertu des stratégies d'atténuation fédérales et provinciales existantes afin d'en assurer la durabilité à long terme.

Constatations clés : intervention

Les capacités locales d'alerte sont extrêmement limitées dans les régions côtières de la C.-B. La capacité de radiodiffusion d'alertes locales est extrêmement limitée dans un grand nombre de régions côtières rurales et les plans de notification par téléphone peuvent également s'avérer problématiques dans les petites communautés.

Conclusions

- Un examen de l'infrastructure de communications doit être entrepris afin d'identifier les capacités locales et les lacunes spécifiques dans la couverture. L'examen exigerait la participation de ministères du gouvernement fédéral, d'organismes provinciaux, de la communauté de l'enseignement et du secteur privé.
- Des rapports sur les exercices et les réunions tenus dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. doivent être rédigés à intervalles réguliers.
- Le Comité régional des télécommunications d'urgence du Pacifique doit participer plus activement à l'élaboration et à l'implantation du Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.
- Un système d'alerte à codage numérique universel pour l'avertissement du public en C.-B. prévoyant spécifiquement les alertes aux tsunamis est nécessaire.
- Un ensemble d'objectifs et de mesures incitatives correspondantes visant à assurer des capacités d'alerte minimales pour toutes les communautés le long du littoral de la C.-B. est nécessaire.

La planification et l'intervention en cas de tsunamis dans les communautés éloignées et de passage ne sont évidentes que dans quelques situations où elles ont été élaborées sur des bases volontaires et non coordonnées.

Conclusions

Au niveau provincial, les fonctionnaires doivent travailler de concert avec :

- les ministères pertinents pour organiser une campagne d'information de départ dans le cadre d'un programme de communication des risques pour les régions récréatives vulnérables le long de la côte de la C.-B.;
- les autorités locales pour encourager de plus importants programmes intermembres de recherche, d'éducation et de formation à l'appui de la formation de groupes de travail sur les tsunamis;
- les communautés locales pour élaborer un mécanisme d'évaluation continue des besoins des communautés côtières et pour l'évaluation du succès des programmes existants dans

le cadre des stratégies nationale et provinciale plus globales d'atténuation. Cela est particulièrement important puisque le profil socio-économique des régions côtières continue à changer. Dans un grand nombre de régions côtières, il existe une occasion de s'inspirer de processus généraux déjà en place comme le *Rural Team British Columbia* et le *Coastal Community Network*.

En l'absence d'un système d'alerte efficace pour les tsunamis locaux, un programme spécial de sensibilisation et d'éducation concernant les risques de tsunamis ainsi qu'une intervention appropriée devraient être mis en oeuvre. Il devrait viser les résidents, les travailleurs (saisonniers et à l'année), les visiteurs de la région (en particulier les touristes) et les populations de passage, donc un grand nombre de personnes exposées de différentes manières aux dangers que présentent les tsunamis.

Une stratégie réussie d'atténuation exige l'engagement des gouvernements et autres responsables locaux ainsi que des personnes et des secteurs de l'industrie, de la récréation et du tourisme dans les régions sujettes aux tsunamis.

Conclusions

- Il est nécessaire d'élaborer un modèle provincial normalisé d'évaluation de programmes visant les tsunamis qui pourrait être basé sur les examens de programmes sur les tsunamis effectués par Foster en 1976 et Anderson en 2004. Ce modèle pourrait être appliqué à intervalles réguliers (cinq ou dix ans) pour évaluer l'état de préparation des communautés aux niveaux local, régional et provincial ainsi que pour mesurer l'utilité d'initiatives actives dans le cadre du programme sur les tsunamis.
- La boîte à outils d'analyse du risque et de la vulnérabilité (*Risk and Vulnerability Analysis (HRVA) Tool Kit*) du PEP de la C.-B. peut aider les communautés à effectuer des choix basés sur le risque pour aborder la vulnérabilité, pour atténuer les dangers et pour préparer l'intervention et le rétablissement à la suite de catastrophes. Une version spécialisée de cet outil logiciel faciliterait l'élaboration des stratégies d'atténuation et la préparation des plans d'intervention par les responsables locaux de la planification.
- Les autorités locales doivent travailler de concert à élaborer un programme éducatif commun de sensibilisation afin d'assurer que les résidents de chaque communauté comprennent les procédures associées aux bulletins de veille et aux alertes aux tsunamis.
- Il est nécessaire que les organismes fédéraux et provinciaux fournissent un appui soutenu et un meilleur accès à l'information sur les tsunamis par l'entremise des sites Web existants.
- Il faut revoir la législation existante pour assurer que des exigences minimales en matière de pratiques de réduction des risques que posent les tsunamis soient établies et respectées.

La sensibilisation du public au danger que pose les tsunamis et aux mesures sécuritaires à adopter lorsqu'un tsunami est attendu sont des éléments essentiels de l'atténuation des conséquences de ces phénomènes. Un soutien scientifique peut en outre s'avérer nécessaire pour l'application des modèles et l'interprétation des cartes des étendues inondables ou inondées.

Conclusions

- Le transfert de connaissances de la communauté scientifique aux efforts locaux et régionaux de gestion et d'atténuation des risques de tsunamis est important, mais exige un appui des gouvernements fédéral et provincial.
- Un centre canadien d'échange d'information sur les tsunamis constituant un guichet unique d'accès aux ressources d'information et de planification relatives aux tsunamis serait utile.
- La création et la tenue à jour de programmes éducatifs sur les tsunamis ciblant des secteurs industriels comme le tourisme, les pêches, l'aquaculture et la foresterie sont nécessaires.
- Des modules de formations spécifiques sur les dangers des tsunamis doivent être élaborés conjointement.

Il y a beaucoup à apprendre des actuels efforts d'atténuation en cours dans les États américains voisins confrontés à des défis similaires à ceux qui doivent être relevés en Colombie-Britannique.

Conclusions

- Pour améliorer l'échange d'information et présenter les intervenants les uns aux autres, et surtout les planificateurs au niveau local, une conférence régionale et des ateliers à intervalles réguliers sur l'atténuation devraient être organisés. Parmi les occasions à retenir mentionnons la conférence annuelle de Vancouver sur les préparatifs d'urgence, le forum annuel de l'*Emergency Preparedness for Industry and Commerce Council* (surtout pour la planification par l'industrie), les événements spéciaux de l'union des municipalités de la C.-B. (*Union of B.C. Municipalities*) et d'autres.
- Un appui à l'utilisation et au parrainage de forums existants visant à atténuer les effets des séismes serait utile. À titre d'exemples, mentionnons le *Western States Seismic Policy Council (WSSPC)*, un consortium régional en matière de séismes, et le *Cascadia Region Earthquake Workgroup (CREW)*, un regroupement de représentants des secteurs public et privé travaillant de concert pour améliorer l'aptitude de la région de Cascadia à atténuer les effets des séismes.

Bien qu'un appui permanent de la recherche scientifique en matière de cartographie des risques de tsunamis sur la côte de la C.-B. soit nécessaire, l'étude se termine par l'identification de trois autres domaines de recherche qui permettraient de combler des lacunes importantes dans les connaissances.

1.) Infrastructure de communications

Un examen de l'infrastructure devrait être entrepris afin de déterminer les capacités des populations locales le long de la côte de la C.-B. en matière de communications. Les résultats d'une telle étude seraient importants pour la planification au niveau communautaire et pourraient constituer une précieuse contribution à l'initiative d'alerte du public d'Industrie Canada et à la conception du futur Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.

2.) État de préparation des communautés côtières

On ne sait que peu de choses sur la sensibilisation aux tsunamis et les pratiques en matière de préparation dans les populations locales et en particulier dans les populations de passage et des groupes marginaux. Une évaluation détaillée pourrait fournir les fondements empiriques sur lesquels baser de futurs objectifs ainsi que permettre d'identifier les priorités et d'établir des mesures quantitatives de l'efficacité des stratégies d'atténuation et de préparation.

3.) Devoir d'avertir

Il pourrait être prudent d'entreprendre un examen formel des obligations fédérales et provinciales en rapport avec le «devoir d'avertir» les résidents et les visiteurs des risques connus attribuables aux tsunamis ainsi que des conditions minimales que l'on peut raisonnablement attendre des gouvernements lors de l'élaboration et de l'entretien d'un système public d'alerte.

Acronymes fréquemment utilisés

ACNU	Alerte à codage numérique universel
BPIEPC	Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile
CCMU	Centre de coordination de mesures d'urgence
CIIT	Centre international d'information sur les tsunamis
COI	Commission océanographique intergouvernementale
CRTU	Comité régional des télécommunications d'urgence
FNI	Fonds des nouvelles initiatives en matière de recherche et de sauvetage
GIC/ITSU	Groupe international de coordination pour le Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique
GRC	Gendarmerie royale du Canada
NOAA	*National Oceanographic and Atmospheric Administration* des États-Unis
PCPC	Programme conjoint de protection civile
PEP C.-B	*Provincial Emergency Program* (programme sur les urgences) de la Colombie-Britannique
SATP	Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique
SCTM	Division des services de communications et de trafic maritimes de la Garde côtière canadienne
SHC	Service hydrographique du Canada
SNAC	Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes
SPPCC	Sécurité publique et Protection civile Canada (antérieurement le BPIEPC)
TWAP C-B.	*Tsunami Warning and Alerting Plan* (plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami) de la Colombie-Britannique
TWS C.-B.	*Tsunami Warning System* (système d'alerte aux tsunamis) de la Colombie-Britannique
USF	Université Simon Fraser
WC/ATWS	*West Coast/Alaska Tsunami Warning System*

Participants

Les auteurs souhaitent remercier les collaborateurs et participants ci-après.

- Mark Seemann, *Emergency Management Analyst (Earthquakes, Tsunami, Volcanoes), B.C. Provincial Emergency Program*, pour son appui tout au long du projet et ses commentaires éclairés sur la conception, de notre recherche ainsi que sur le plan et l'ébauche du rapport.
- John J. Clague, *Canada Research Chair in Natural Hazard Research*, Université Simon Fraser, *Department of Earth Sciences* pour de précieuses données sources et la rétroaction offerte concernant la section du présent rapport sur la mise en contexte du risque que posent les tsunamis.
- David LeMarquand, Sécurité publique et Protection civile Canada
- Ian Hutchinson, Université Simon Fraser, *Department of Geography*
- Fred Stephenson, Institut des sciences de la mer, Pêches et Océans Canada
- Roger Mckellar, Agent, Capacité d'intervention en cas d'urgence, Pêches et Océans Canada
- Chuck Pudsey, Services de communications et de trafic maritimes, Pêches et Océans Canada– Garde côtière canadienne (Région du Pacifique)
- James Whyte, gestionnaire régional du PEP C.-B., région de l'île de Vancouver
- Dan Vedova, Parcs Canada
- Irene Farris, gestionnaire du programme d'urgence de la vallée d'Alberni
- Carl Hanson, gestionnaire du programme d'urgence, district de Tofino
- Vera Webb, conseillère municipale, district de Tofino
- Adjoints à la recherche : Marcia Anderson, Grace Chung, Robert Scholander, Danyu Zhao et Elizabeth Zook
- Aide SIG – Jasper Stoodley
- Formatage et mise en page – Sulya Fenichel

Table des matières

Remerciements ii

Sommaire iii

Acronymes fréquemment utilisés ix

Participants x

1.0 Introduction 1

2.0 Mesure du succès dans le cadre de la Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes 4

2.1 Méthode de recherche et structure du présent rapport 5

3.0 Historique des dangers des tsunamis 7

3.1 Causes des tsunamis 11

3.1.1 Tsunamis déclenchés par des séismes 11

3.1.2 Preuves de séismes tsunamigènes antérieurs 14

3.1.3 Volcans et tsunamis 16

3.1.4 Tsunamis déclenchés par des glissements de terrain côtiers, des chutes de pierre et de glace, et des affaissements sous-marins 17

3.1.5 Explosions et tsunamis 18

3.1.6 Tsunamis engendrés par des bolides 18

3.2 Risque de tsunamis le long de la côte ouest du Canada 18

3.3 Télétsunamis 18

3.3.1 Tsunamis locaux – marins 22

3.3.2 Tsunamis locaux – terrestres 25

3.3.3 Seiches 25

3.4 Incidences des tsunamis 26

3.4.1 Dommages causés par les tsunamis 26

3.4.2 Incidences à court terme des tsunamis 27

3.4.3 Incidences indirectes ou à long terme 27

3.5 La Colombie-Britannique et le séisme de 1964 en Alaska 28

3.5.1 Leçons apprises 31

4.0 Le Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. 32

4.1 Le sous-système de détection : alerte aux tsunamis pour la région est du Pacifique 32

4.2 Le sous-système de gestion des urgences : alerte aux tsunamis pour la côte de la C.-B. 33

4.3 Le sous-système public d'intervention : alerte aux tsunamis auprès des communautés côtières 36

4.4 Le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. : un réseau de diffusion à trois niveaux 38

4.4.1 Observations préliminaires : niveau 1 39

4.4.2 Observations préliminaires : niveau 2 39

4.4.3 Observations préliminaires : niveau 3 40

5.0 Groupes d'intervenants le long de la côte de la C.-B. 42
5.1 Groupes d'intervenants du niveau 1 42
5.2 Groupes d'intervenants du niveau 2 43
5.3 Groupes d'intervenants du niveau 3 43
5.4 Groupes d'intervenants de l'industrie 44
5.4.1 Foresterie 44
5.4.2 Pêche commerciale 44
5.5 Évolution du profil de la côte de la C.-B. 45
5.5.1 Aquaculture 45
5.5.2 Exploration pétrolière et gazière 46
5.5.3 Tourisme et activités récréatives 46
5.5.4 L'industrie des croisières touristiques 49
5.6 Évolution des activités sur la côte et nouvelles vulnérabilités 51

6.0 Efficacité du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. 55
6.1 Failles dans les communications 57
6.2 Préparation et mise à l'essai des plans d'avertissement et d'alerte des communautés 58
6.3 Vides administratifs 59

7.0 Pratiques exemplaires dans la conception de systèmes d'alerte 60
7.1 Évaluation des risques 60
7.2 Gestion des risques 60
7.3 Communication des risques 61
7.4 Populations particulières à risque 62
7.5 Touristes 62
7.6 Avis et respect des consignes 63
7.7 Réseaux de diffusion des avertissements 64
7.8 Pratiques exemplaires dans la conception des systèmes d'alerte 65
7.9 Recommandations sur la conception 67
7.10 Mise en pratique des pratiques exemplaires 68
7.10.1 Système d'alerte à codage numérique universel (ACNU) 68
7.10.2 Capacités et stratégie de diffusion des messages d'alerte 68
7.10.3 Messages géocodés 69
7.10.4 Planification locale 69

8.0 Intégration des pratiques exemplaires au système de la C.-B. 70
8.1 Niveau un : surveillance et détection 71
8.2 Niveau deux : gestion des urgences 71
8.3 Niveau trois : intervention 72

9.0 Suggestions pour d'autres travaux de recherche 76
9.1 Infrastructure de communications 76
9.2 État de préparation des communautés côtières 76
9.3 Devoir d'avertir 77

Bibliographie et choix de références 78

1.0 Introduction

Le 27 mars 1964, une série de vagues d'un tsunami se sont propagées dans le bras de mer Alberni et ont frappé Port Alberni, élevant les niveaux d'eau à quatre mètres au-dessus du niveau de la plus forte marée et causant de lourds dommages à la ville. Les résidents n'ont reçu aucun avertissement de l'arrivée de la vague. Heureusement, le tsunami n'a entraîné aucune perte de vie, mais les dommages matériels ont atteint approximativement 10 millions de dollars. À l'époque, la côte de la Colombie-Britannique était une région dominée par une économie basée sur les ressources, s'appuyant sur la foresterie, les pêches et, dans une moindre mesure, sur l'exploitation minière et l'agriculture. Les populations qui se trouvaient au-delà des basses terres continentales et sur la côte est de l'île de Vancouver étaient principalement groupées en petites communautés et dans des camps flottants de bûcherons.

De nombreux changements sont survenus sur la côte de la C.-B. depuis l'événement de 1964, et on peut s'attendre à d'autres changements au cours de la prochaine décennie en raison de bouleversements économiques. Depuis le milieu des années 90, par exemple, le rendement du secteur forestier a baissé de manière notable, entraînant des fermetures de scieries et des pertes d'emploi. De la même manière, les secteurs de la pêche au saumon et au hareng ont subi une baisse appréciable au cours des années 90, tout comme l'industrie de transformation des fruits de mer. Les investissements dans le domaine minier ont également connu d'importantes fluctuations tout au long de cette période. Préoccupés par la dépendance aux pratiques traditionnelles en matière de foresterie et de pêche commerciale, les résidents de la côte reconnaissent dorénavant que la survie à long terme de leurs communautés repose sur la viabilité équilibrée de ces industries, accompagnée d'une diversification de l'économie de la région côtière.

Récemment, plusieurs nouvelles initiatives ont été lancées par les autorités fédérales, provinciales, régionales et locales, par les Premières nations et par des organismes de conservation et du secteur privé afin d'affiner et d'orienter la croissance économique dans les régions côtières. Les plus importants des nouveaux secteurs d'activité économique en émergence sont l'aquaculture, les activités récréatives et touristiques et l'exploration pétrolière et gazière extracôtière. Dans le cas de l'aquaculture, l'industrie salmonicole de la C.-B. emploie environ 3 000 personnes dans des emplois directs et indirects. Plus de 92 pour cent des emplois directs se trouvent dans les communautés côtières à l'extérieur des régions métropolitaines de Victoria et de Vancouver. La côte de la Colombie-Britannique est un endroit très recherché pour l'aquaculture car le littoral est unique en Amérique du Nord pour ses nombreux fjords ainsi que ses baies et bras de mer protégés, ses zones libres de glace et une température idéale pour la production de poisson. Les pisciculture de saumon sont principalement situées sur les côtes nord-est et ouest de l'île de Vancouver et à proximité.

Du point de vue historique, le tourisme représentait une composante relativement mineure de l'économie d'une grande partie de la côte centrale et septentrionale de la C.-B. et du nord de l'île de Vancouver. Ce fut particulièrement le cas jusqu'aux années 80, en raison du petit nombre relatif de visiteurs dans la région, du manque d'infrastructures de transport et de la prédominance des industries du secteur primaire. Toutefois, au cours des deux dernières décennies, la croissance du tourisme a été constante grâce à plusieurs facteurs, notamment aux services de traversiers et aux croisières jusqu'à Prince Rupert et l'Alaska. Par ailleurs, on s'attend à de

nombreux changements importants dans l'industrie touristique, en ce nouveau millénaire. Ces changements sont amenés par des facteurs tels que l'importante amélioration des transports, la conjoncture économique mondiale et l'évolution démographique.

L'exploration pétrolière et gazière en mer a permis d'identifier quatre grands bassins prometteurs pour l'exploitation pétrolière, situés dans le bassin de Reine-Charlotte, le bassin de Winona, le bassin de Tofino et le bassin de Georgia. Alors que ces régions ont été soumises à un moratoire sur les activités d'exploration depuis les années 70, le déclin des autres industries le long de la côte de la C.-B. vers la fin des années 90 a de nouveau suscité des demandes pour poursuivre l'exploration. En 2001, le gouvernement de la Colombie-Britannique a entrepris l'examen du moratoire et a annoncé en 2002 son objectif de favoriser le développement d'une industrie pétrolière et gazière extracôtière, qui devrait être en place et fonctionner d'ici 2010.

Même si on ne s'attend pas à ce que ces nouvelles activités économiques remplacent automatiquement d'autres emplois habituellement bien rémunérés dans l'industrie des ressources, on considère qu'elles offrent des emplois qui rapportent beaucoup plus que le salaire minimum. Pour un grand nombre de résidents, ces activités offrent des possibilités supplémentaires, comme la chance de rester dans la communauté de leur choix sans avoir à déménager pour trouver du travail ou maintenir une qualité de vie qui correspond à leurs valeurs.

Ces tendances présentent en outre de nouveaux défis en matière d'efficacité des systèmes d'alerte le long de la côte de la C.-B. En Colombie-Britannique, les régions les plus vulnérables face aux dangers que posent les tsunamis comprennent les réseaux de bras de mer le long des côtes ouest de l'île de Vancouver et des îles de la Reine-Charlotte, ainsi que la côte continentale entre l'extrémité sud des îles de la Reine-Charlotte et l'extrémité nord de l'île de Vancouver. Par ailleurs, il existe une corrélation entre ces régions et la plupart des nouvelles activités socio-économiques planifiées ou émergentes.

S'ajoutant aux changements sociaux et économiques, une révolution dans les technologies de communications a transformé la capacité des systèmes d'alerte, permettant de produire des avertissements plus opportuns et plus exacts. Industrie Canada met actuellement de l'avant une initiative visant l'élaboration de normes pour un système national d'alerte, qui pourrait maximiser la valeur des nouvelles technologies numériques parallèlement aux réseaux analogues plus classiques de radiodiffusion.

Tous ces changements surviennent alors même que les autorités provinciales et locales commencent à adopter des stratégies d'atténuation pour la gestion des urgences. De même, l'initiative canadienne d'une Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes coïncide avec la tendance internationale vers la constitution de communautés plus résilientes comme fondement principal de la gestion des catastrophes.

En ce qui concerne l'avenir du Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B., le présent rapport doit tenir compte de divers facteurs en évolution :

- l'évolution stratégique de la gestion des urgences vers un modèle plus global qui inclut la préparation, l'intervention et le rétablissement, en insistant fortement sur l'atténuation;
- une meilleure compréhension des dangers que posent les tsunamis, des risques associés et de notre vulnérabilité croissante;
- des orientations nouvelles en matière de pratiques économiques et sociales le long de la côte de la C.-B.;
- des technologies émergentes et des systèmes publics d'alerte hérités.

À cette liste, on pourrait ajouter un cinquième facteur en évolution :

- la portée internationale inhérente d'un système d'alerte aux tsunamis et l'obligation réciproque du Canada envers la communauté internationale.

Les systèmes d'alerte aux tsunamis, tels qu'ils seront décrits dans les sections suivantes du présent rapport, ont nécessairement une portée internationale et exigent, par conséquent, un niveau élevé de coopération multilatérale et de soutien sur le plan des ressources. Le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. dépend de ces ressources et infrastructures et, avec l'évolution des composantes internationales de ce système, les gouvernements de la C.-B. et du Canada doivent non seulement prendre leurs responsabilités pour garantir que les capacités d'alerte à l'intérieur du pays continuent à satisfaire aux normes internationales, mais encore, lorsque c'est possible, le Canada continuera de remplir ses obligations réciproques envers ses partenaires internationaux dans le cadre du fonctionnement permanent d'un système d'alerte aux tsunamis, particulièrement dans la région du Pacifique.

Ce sont ces facteurs en évolution qui constituent la trame de l'étude, dont le but principal était d'examiner la capacité de l'actuel système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. à combler les besoins présents et futurs des groupes d'intervenants. En outre, l'étude visait à identifier une gamme de stratégies basées sur des pratiques exemplaires reconnues internationalement afin d'aborder les lacunes et les préoccupations à court terme comme à long terme.

Les résultats de l'étude sont énoncés dans le présent rapport, qui se veut une évaluation de base du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. et des pratiques associées d'atténuation des risques. Celles-ci sont évaluées à la lumière des développements socio-économiques identifiés sur les littoraux de la C.-B. et d'après les meilleures pratiques reconnues, ainsi que les principes et objectifs clés de la Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes du Canada.

2.0 Mesure du succès dans le cadre de la Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes

En 2001, le gouvernement fédéral a lancé une série de consultations portant sur l'élaboration d'une Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes (SNAC). La SNAC (Canada, 2001b) définit l'atténuation des catastrophes comme

> des actions soutenues pour réduire ou éliminer les incidences à long terme et les risques associés aux catastrophes naturelles et anthropiques. Des mesures d'atténuation sont généralement prises bien avant une éventuelle situation catastrophique afin de réduire la probabilité ou la fréquence de l'événement, ou pour en empêcher ou diminuer les incidences.

Les buts de la SNAC sont les suivants.

- Renforcer et constituer des communautés résilientes et viables afin de réduire les incidences sociales, environnementales et économiques des catastrophes;
- Créer de façon proactive un milieu dans lequel la capacité est mise en place à tous les niveaux et la gestion du risque devient un élément conscient du processus de prise de décisions;
- Réduire les risques que posent les catastrophes naturelles pour la vie, les propriétés, les infrastructures et l'activité économique.

Cinq principes directeurs en vue d'une stratégie intégrée et itérative ont émergé des consultations. D'après le consensus établi, la SNAC devrait :

1. Inspirer des valeurs de confiance, d'équité et de justice à tous les niveaux de la prise de décisions. La stratégie devrait s'appuyer clairement sur le bien collectif et ne pas repousser les risques vers l'aval;
2. Être intégrée à toute planification de développement et demeurer flexible et extensible selon divers contextes et diverses communautés;
3. Être orientée sur la communauté tout en ayant un fort engagement national;
4. Se baser sur les connaissances et promouvoir les meilleures pratiques dans un processus dynamique et continu, constamment réévalué à tous les niveaux;
5. Définir clairement les rôles et les responsabilités, l'imputabilité et les pouvoirs correspondants en regard des compétences établies, dans un contexte de transparence et de responsabilité à l'égard du public.

Compte tenu de ces conditions préalables, quelle serait une façon appropriée de mesurer le « succès » lorsqu'on considère l'élaboration et l'évolution continue des systèmes publics d'alerte? John Handmer (Handmer, 2002) s'est penché sur ce problème dans le cadre de l'élaboration de systèmes d'alerte d'inondation, y faisant référence comme un « enjeu critique constant » dans les procédures d'évaluation. Il énumère un certain nombre d'approches, certaines comme mesures de réduction des sinistres, d'autres relatives à l'atteinte du public et à sa réponse, ou d'autres concernant l'opportunité et l'exactitude lors de la transmission des avertissements. Pour nos besoins, cependant, Handmer identifie également une approche qui peut permettre de définir le succès à l'intérieur d'un cadre d'atténuation des risques. Cette approche, énoncée très succinctement, identifie et évalue « *les principes et les hypothèses qui sous-tendent la conception et le fonctionnement…* » d'un système d'alerte.

Une telle mesure du succès reflète jusqu'à quel point la conception et le fonctionnement d'un système d'alerte *intègre efficacement* les principes d'une stratégie d'atténuation. Toutefois, dans son analyse des études américaines et européennes sur les systèmes d'alerte, Handmer a en outre observé qu'on « a [constamment] ignoré le problème fondamental qui consiste à concevoir des systèmes d'alerte répondant aux besoins de la communauté » (p. 22), indiquant ainsi que les principes et objectifs d'une stratégie d'atténuation ne sont pas aisément atteints :

> L'incapacité de conceptualiser explicitement la responsabilité d'avertir pour permettre aux communautés, aux entreprises et aux personnes menacées de prendre des mesures visant à réduire les risques et les pertes matérielles constitue une grave omission dans la documentation américaine et européenne [sur l'annonce d'inondations]. (p. 17)

La conception réussie d'un système d'alerte ne commence ni ne se termine avec la transmission d'un message à un public anonyme, mais se mesure plutôt à un ensemble beaucoup plus complet de mesures qui tiennent compte de l'instauration proactive de pratiques locales en matière de réduction des risques, du déploiement et de l'entretien des systèmes d'alerte, et de l'amélioration des capacités des communautés pour faire face convenablement aux besoins spécifiques des populations menacées. Si c'est là la façon de mesurer le succès, alors les constatations de Handmer suggèrent d'entrée de jeu que les communautés auront besoin de moyens et de méthodes leur permettant de participer plus directement à la conception et à l'évolution continue des systèmes publics d'alerte.

Un certain nombre de questions pratiques découlent de cette analyse, les plus fondamentales ayant trait à des préoccupations sur l'engagement des intervenants des communautés : quels intervenants devraient participer et quand et comment devraient-ils ou auraient-ils la permission de participer aux systèmes d'alerte et aux pratiques associées d'atténuation des risques? Avant d'aborder cette question, il faut d'abord répondre à une question préalable : quelles sont les populations menacées par les tsunamis et de quelle manière le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. peut-il contribuer à l'objectif de réduire les risques à long terme pour ces populations?

C'est cette dernière question que la présente étude vise à aborder plus directement, tout en tenant compte de la question plus large sur la participation des intervenants à la conception et à l'élaboration de systèmes publics d'alerte au Canada.

2.1 Méthode de recherche et structure du présent rapport

La recherche effectuée dans le cadre de la présente étude a révélé que l'atténuation des risques que posent les tsunamis représente un domaine très vaste qui a reçu une attention minime au Canada au-delà d'études scientifiques et techniques. À cet égard, il y avait peu de précédents sur lesquels s'appuyer pour intégrer un contexte social plus large, bien qu'un grand nombre d'études et de rapports du Canada ou de l'étranger aient été utiles pour structurer la recherche et l'analyse.

Le présent rapport se veut une évaluation de base du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. et des pratiques associées d'atténuation des risques sur les littoraux de la C.-B. Par conséquent, l'un des objectifs consiste à offrir aux planificateurs des mesures d'urgence et aux responsables des politiques du Canada une perspective moderne plus large de la nature des dangers que posent les tsunamis sur la côte ouest canadienne, des risques associés, des vulnérabilités, ainsi que des systèmes et stratégies d'alerte pour l'amélioration des avertissements et la réduction des risques.

Un autre objectif du rapport est de servir de catalyseur pour la réalisation d'études et d'analyses plus détaillées.

Pour l'approche conceptuelle générale, nous avons adopté un modèle fonctionnel de systèmes d'alerte (Mileti et Peek, 2000) et l'avons modifié en un modèle axé sur les communications qui représente le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. comme un réseau de diffusion à trois niveaux. Ce modèle modifié a ensuite servi à orienter nos recherches et à diriger notre analyse au cours de l'étude. Il sert ici de cadre général pour le plan du rapport et de ses résultats.

Les groupes actuels d'intervenants ont été identifiés par le biais de liens officiels avec le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. et les documents connexes comme étant ceux qui participent directement au système d'alerte de la C.-B., notamment les groupes énumérés dans les documents de planification ou dans des listes de contacts téléphoniques, ou encore directement engagés dans des activités de recherche ou des forums de planification. Les futurs intervenants prévus ont été identifiés en consultant des chercheurs et d'autres personnes qui travaillent au développement socio-économique de la région côtière de la C.-B.

L'examen de l'efficacité du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. était basé sur les sources disponibles à la suite d'exercices récents et d'évaluations de l'efficacité, et sur des discussions avec des représentants officiels et des participants, bien qu'il faille probablement effectuer des travaux supplémentaires dans ce domaine puisque des preuves documentées sont relativement peu disponibles actuellement.

La section sur les pratiques exemplaires est basée sur un examen sélectif des études sociologiques sur les systèmes d'alerte, tirées d'une bibliographie exhaustive fournie gracieusement par Dennis Mileti du *Natural Hazards Research Centre* de l'Université du Colorado (Boulder). Les pratiques exemplaires en matière de facteurs opérationnels sont tirées des plus récents documents de planification actuellement disponibles sur les systèmes d'alerte.

3.0 Historique des dangers des tsunamis

Les tsunamis sont des ondes marines exceptionnelles déclenchées par d'importants impacts de surface ou par le mouvement soudain du fond d'un plan d'eau, déplaçant l'eau qui se trouve au-dessus (Myles, 1985; Clague, 2001). L'eau ainsi déplacée se propage depuis la source et devient un tsunami. Bien qu'ils soient généralement associés aux séismes, les tsunamis peuvent aussi être déclenchés par de nombreux autres types de phénomènes, incluant les glissements de terrain sous-marins ou terrestres, les éruptions volcaniques sous-marines et terrestres, les explosions et même les impacts des bolides (p. ex. astéroïde, météore, comète) (Clague, 2001; Paine, 1999).

Les tsunamis ont causé des dommages énormes et de nombreux décès dans bon nombre de régions côtières autour du monde. Les tsunamis sont toutefois particulièrement menaçants autour des bordures continentales de l'océan Pacifique en raison d'un plus grand nombre d'importants séismes destructeurs.

Le terme « tsunami » est un mot japonais qui renferme deux caractères : « tsu » et « nami ». Le caractère « tsu » signifie port et le caractère « nami » signifie vague (NTHMP, 2003). Dans les années 60, le terme a été généralement adopté par les scientifiques internationaux pour décrire les ondes à longue période produites par un déplacement soudain de la surface de l'eau (Clague et coll., 2003), ce qui a été fait en partie pour éviter de confondre ces événements avec les « raz-de-marée ». Dans le passé, des tsunamis ont souvent été désignés à tort comme des « raz-de-marée ». Les marées sont le résultat des influences gravitationnelles de la lune, du soleil et des planètes. Les causes des tsunamis ne sont pas liées aux marées, même si un tsunami qui frappe une zone côtière est influencé par le niveau de la marée au moment de l'impact. Comme nous le verrons d'ailleurs ci-après, même le terme tsunami peut être trompeur parce que les tsunamis ne se produisent pas uniquement dans les zones portuaires.

Plusieurs facteurs font en sorte que la prévision des incidences des tsunamis constitue tout un défi. Premièrement, étant donné que les tsunamis sont des phénomènes rares et généralement imprévisibles, il est difficile de mesurer ou d'observer directement leur formation. Deuxièmement, dans les eaux profondes, il est très difficile de détecter les tsunamis. Leurs longueurs d'ondes sont généralement très longues, quelquefois des centaines de kilomètres, et leurs amplitudes sont généralement inférieures à un mètre (Clague et coll., 2003). La vitesse à laquelle les tsunamis se déplacent est fonction de la profondeur de l'eau qu'ils traversent : plus l'eau est profonde, moins grande est la résistance et plus rapide est la vague (Myles, 1985). Ceux qui sont générés dans les parties plus profondes du Pacifique peuvent se déplacer à des vitesses similaires à celles des vols commerciaux transpacifiques – c'est-à-dire, jusqu'à 1000 km/h (Clague, 2001), ce qui leur permet de traverser le Pacifique en moins d'une journée. C'est la vitesse des tsunamis qui les rend dangereux à l'approche des côtes. Lorsque le plancher océanique s'élève vers la terre, la friction ralentit le front de la vague, ce qui fait que le reste de la vague remonte à l'arrière. Les vagues derrière grossissent les vagues qui les précèdent, poussant contre la vague frontale montante. Ce phénomène est appelé la « réfraction des vagues » (Clague, 2001). Lorsqu'une vague en rattrape une autre, il peut se créer un mur d'eau très abrupt qu'on appelle « mascaret » (Clague, 2001). Même si les vagues peuvent être considérablement ralenties (jusqu'à 60 km/h ou moins), les hauteurs des vagues peuvent

atteindre jusqu'à 30 m ou plus dans les eaux peu profondes (Commission océanographique intergouvernementale, 2001; Clague, 2001).

Ce ne sont toutefois pas tous les tsunamis qui déferlent en atteignant le rivage. Ils sont généralement des lames turbulentes qui se ruent vers le rivage et non pas de simples vagues déferlantes (Clague, 2001). Certaines vagues se précipitent tout simplement sur le rivage comme une marée massive soudaine (Project Impact). Il est toutefois important de noter que la crête de la vague n'arrive pas toujours en premier sur le rivage. Souvent, il y a d'abord un creux et, dans ce cas, le premier signe d'un tsunami est ce qui semble être une marée extrêmement basse. Les tsunamis sont généralement caractérisés par des inondations côtières alternant avec des reculs des eaux; il s'écoule souvent plusieurs minutes ou même des heures entre les périodes d'inondations successives. À l'occasion, il arrive que les résidents locaux, les premiers répondants et les dirigeants des communautés ne sachent pas que les deuxième et troisième vagues sont souvent les plus grosses. En supposant que le pire est passé après la première vague, bon nombre d'entre eux se rendent vulnérables en s'aventurant trop près du rivage pour être ensuite emportés par les vagues subséquentes.

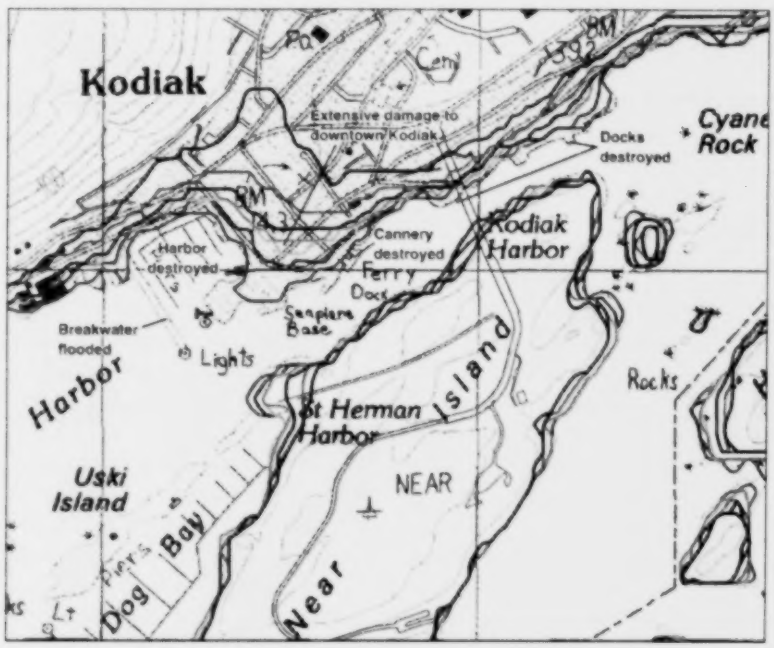
Contrairement aux vagues normales qui ont de petits volumes d'eau et qui se dissipent rapidement lorsqu'elles atteignent le rivage, les séries de vagues des tsunamis peuvent durer jusqu'à 24 heures et peuvent entraîner d'importants volumes d'eau loin dans les terres, selon les conditions. Ce phénomène est décrit comme une « inondation » et un « jet de rive » et l'ampleur de l'inondation et du jet de rive est un facteur déterminant du caractère destructeur d'un tsunami (Myles, 1985). L'inondation est mesurée comme la plus grande distance horizontale atteinte par les vagues et le jet de rive est la plus grande hauteur verticale atteinte par les vagues. Donc, un tsunami qui frappe une falaise maritime élevée entraînerait un grand jet de rive et peu d'inondation.

L'ampleur de l'inondation et du jet de rive d'un tsunami, et par conséquent l'ampleur des dommages potentiels, est déterminée non seulement par la taille, la vitesse et l'angle d'approche de la vague, mais aussi par la configuration côtière d'un site quelconque. Des influences comme la forme du rivage, la profondeur de l'eau, le relief du fond océanique, l'orientation du rivage, les récifs, les caractéristiques sous-marines et la topographie des terres adjacentes ont un effet déterminant sur l'impact des vagues. En général, l'inondation est moindre sur un rivage abrupt et droit, et plus importante à la tête de baies et de bras de mer larges et peu profonds (Clague 2001).

L'influence des marées sur les risques potentiels des tsunamis est importante. Un tsunami de deux mètres qui survient à marée basse dans une communauté où l'amplitude des marées est de quatre mètres aura probablement peu d'incidences sur la communauté. Le même tsunami de deux mètres coïncidant avec une des plus hautes marées locales de l'année pourrait être désastreux. Il est généralement inévitable qu'une des vagues coïncide avec une marée haute ou montante. D'autres facteurs qui peuvent exacerber les incidences de l'action des vagues des tsunamis incluent l'érosion côtière causant des glissements de terrain ou des affaissements et les ondes de tempête qui peuvent entraîner une hausse importante de la hauteur des vagues. Par conséquent, il est important de tenir compte des marées ainsi que d'autres facteurs puisque les tsunamis peuvent se superposer à des conditions locales existantes.

Comme nous l'avons vu, des niveaux d'eau maximum peuvent résulter d'une combinaison de variables, allant de l'angle de l'impact, de la configuration côtière (la côte et au large), de la hauteur de la marée, de l'érosion côtière et des affaissements, jusqu'aux conditions météorologiques courantes. Étant donné que chacun de ces paramètres varie le long des côtes, l'inondation et le jet de rive peuvent différer considérablement et ce, même sur de courtes distances, rendant difficile l'évaluation des dangers locaux (Barlow, 1995). Toutefois, en documentant minutieusement bon nombre de ces paramètres, les scientifiques sont en mesure de combiner ces données aux enregistrements d'événements antérieurs et/ou aux impacts mathématiquement modélisés afin de produire des cartes des zones inondables qui identifient les populations et les infrastructures côtières menacées (voir la figure 1).

Figure 1 Scénarios d'inondations par les tsunamis de la ville de Kodiak (Alaska)
(Dérivés de : Alaska, 2004)

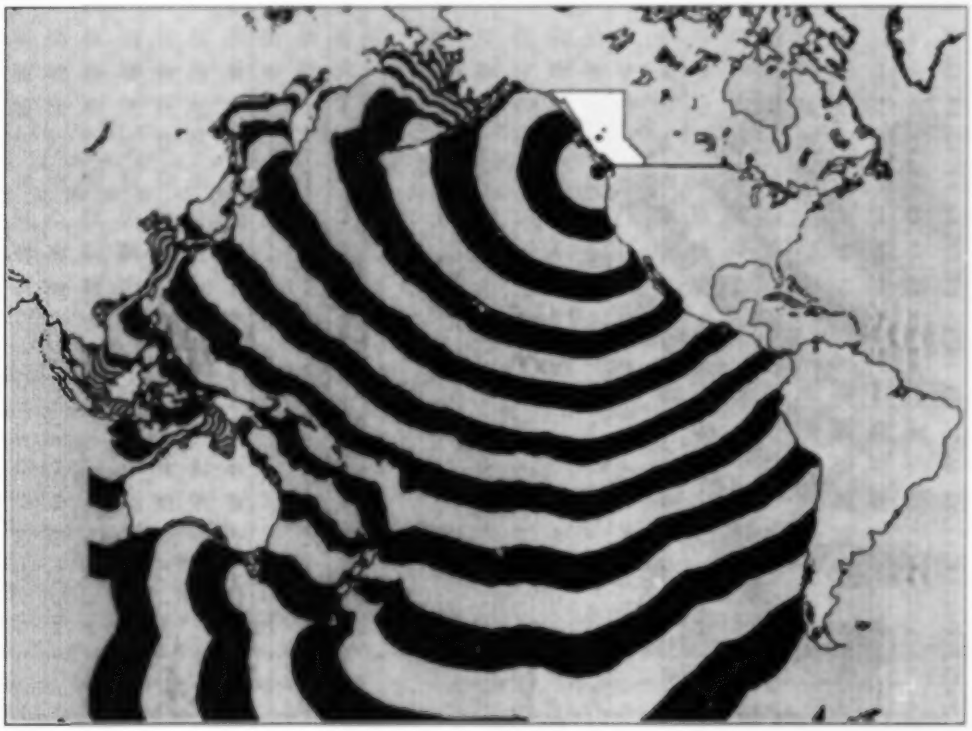


Légende

Breakwater flooded	=	Brise-lame submergé	Docks destroyed	=	Quais détruits
Harbor destroyed	=	Port détruit	Kodiak Harbor	=	port de Kodiak
Lights	=	Phares	St. Herman Harbor	=	port de St. Herman
Seaplane Base	=	Hydrobase	Uski Island	=	île Uski
Ferry Dock	=	Quai d'accostage	Piers	=	Jetées
Cannery destroyed	=	Conserverie détruite	Dog Bay	=	baie Dog
Extensive damage to downtown Kodiak	=	Dommages importants au centre-ville de Kodiak	Near Island	=	île Near
Rocks	=	Rochers			

Le fait de combiner ces résultats avec les emplacements et les moments des événements déclencheurs permet ensuite aux scientifiques de prédire mathématiquement le moment de l'arrivée des tsunamis, étant donné que la vitesse des vagues varie en fonction de la racine carrée de la profondeur de l'eau à un point donné (NOAA; Clague et coll., 2003). Cette dernière détermination est essentielle pour alerter le public. Les tsunamis en champ proche peuvent frapper les zones côtières en quelques minutes, ce qui ne laisse que le tremblement du sol (si le tsunami est déclenché par un séisme) comme indice pour alerter la population à proximité de la côte. Toutefois, les tsunamis en champ lointain ou engendrés à distance offrent suffisamment de temps (souvent des heures) pour alerter les régions menacées et permettre aux gens de prendre les mesures appropriées, incluant l'évacuation. À l'heure actuelle, le Système d'alerte aux tsunamis de la côte ouest du Canada n'informe la population que sur des tsunamis en champ lointain.

Figure 2 Temps de parcours des tsunamis. Chaque bande de couleur représente une heure de déplacement (données d'origine : NOAA, 2003)

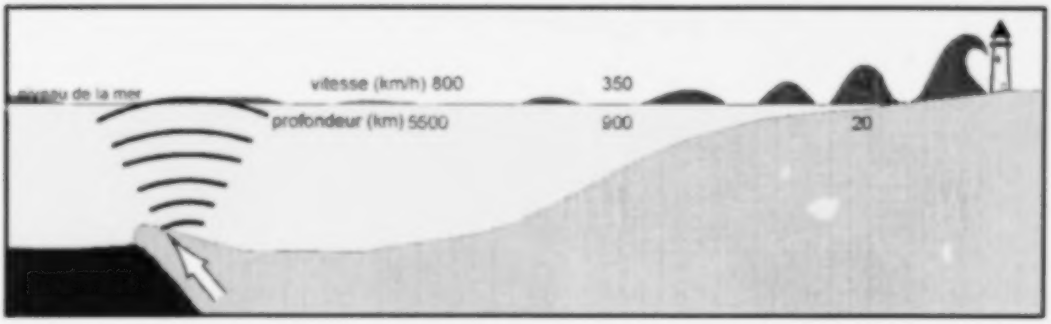


3.1 Causes des tsunamis

3.1.1 Tsunamis déclenchés par des séismes

Les tsunamis les plus destructeurs et de plus grande envergure sont généralement déclenchés par d'importants séismes sous-marins en eaux peu profondes (Commission océanographique intergouvernementale, 2001), quelquefois appelés « séismes tsunamigènes ». Ces séismes, qui se produisent le plus souvent dans l'océan Pacifique, sont principalement adjacents aux limites continentales où les plaques océaniques s'enfoncent sous la masse continentale, libérant par intermittence d'importantes poussées d'énergie sous la forme de séismes (Dunbar et coll., 1989). Les séismes de subduction sont particulièrement efficaces pour déclencher des tsunamis. En créant un déplacement vertical (glissement suivant le pendage) du plancher océanique, les séismes peuvent déplacer, incliner ou décaler de grandes superficies, allant de quelques kilomètres à plus de 1000 kilomètres. Ces déplacements verticaux soudains déforment à leur tour la surface de l'eau et propagent des vagues depuis la source, engendrant des vagues de tsunamis potentiellement destructrices (Commission océanographique intergouvernementale, 2001; Dunbar et coll., 1989). Ces sortes de vagues de tsunamis sont également appelées « vagues océaniques sismiques ».

Figure 3 Tsunamis déclenchés par des séismes
(Source : Clague, 2001)



La côte ouest du Canada est particulièrement vulnérable à ce type de tsunamis en raison de la présence de zones de subduction éloignées et proches à la limite du bassin du Pacifique (Clague et coll., 2003).

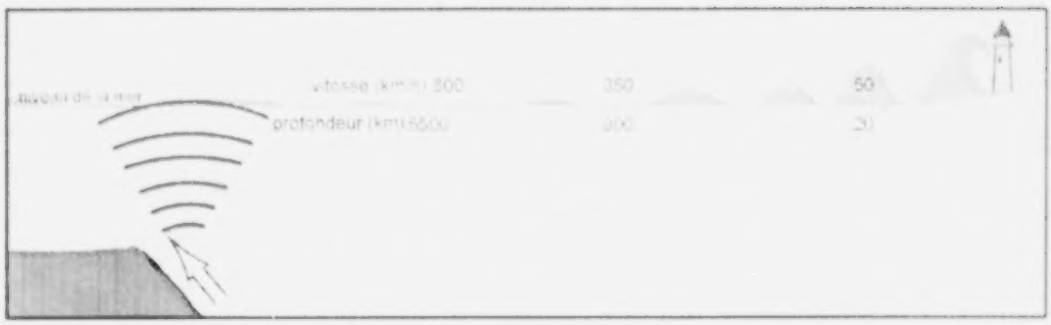
Ce ne sont toutefois pas tous les séismes qui engendrent des tsunamis. De nombreux facteurs contribuent au processus de production des tsunamis, incluant la magnitude et la profondeur des séismes, qu'il y ait ou non affaissement de sédiments, et l'efficacité avec laquelle l'énergie est transférée des plaques crustales à l'eau de l'océan. En raison de ces facteurs complexes, il n'y a pas de réponse simple à savoir quelle doit être la magnitude d'un séisme pour déclencher un tsunami. La tendance générale porte à croire qu'un séisme doit être d'une magnitude d'au moins 7,5 pour engendrer un tsunami capable de causer des dommages à de grandes distances de la source (Commission océanographique intergouvernementale, 2001; Dunbar et coll., 1989). Toutefois, des séismes de magnitudes beaucoup plus faibles peuvent engendrer des tsunamis locaux en déclenchant des glissements de terrain ou des affaissements côtiers et/ou sous-marins.

3.1 Causes des tsunamis

3.1.1 Tsunamis déclenchés par des séismes

Les tsunamis les plus destructeurs et de plus grande envergure sont généralement déclenchés par d'importants séismes sous-marins en eaux peu profondes (Commission océanographique intergouvernementale, 2001), quelquefois appelés « séismes tsunamigènes ». Ces séismes, qui se produisent le plus souvent dans l'océan Pacifique, sont principalement adjacents aux limites continentales où les plaques océaniques s'enfoncent sous la masse continentale, libérant par intermittence d'importantes poussées d'énergie sous la forme de séismes (Dunbar et coll., 1989). Les séismes de subduction sont particulièrement efficaces pour déclencher des tsunamis. En créant un déplacement vertical (glissement suivant le pendage) du plancher océanique, les séismes peuvent déplacer, incliner ou décaler de grandes superficies, allant de quelques kilomètres à plus de 1000 kilomètres. Ces déplacements verticaux soudains déforment à leur tour la surface de l'eau et propagent des vagues depuis la source, engendrant des vagues de tsunamis potentiellement destructrices (Commission océanographique intergouvernementale, 2001; Dunbar et coll., 1989). Ces sortes de vagues de tsunamis sont également appelées « vagues océaniques sismiques ».

Figure 3 Tsunamis déclenchés par des séismes
(Source : Clague, 2001)



La côte ouest du Canada est particulièrement vulnérable à ce type de tsunamis en raison de la présence de zones de subduction éloignées et proches à la limite du bassin du Pacifique (Clague et coll., 2003).

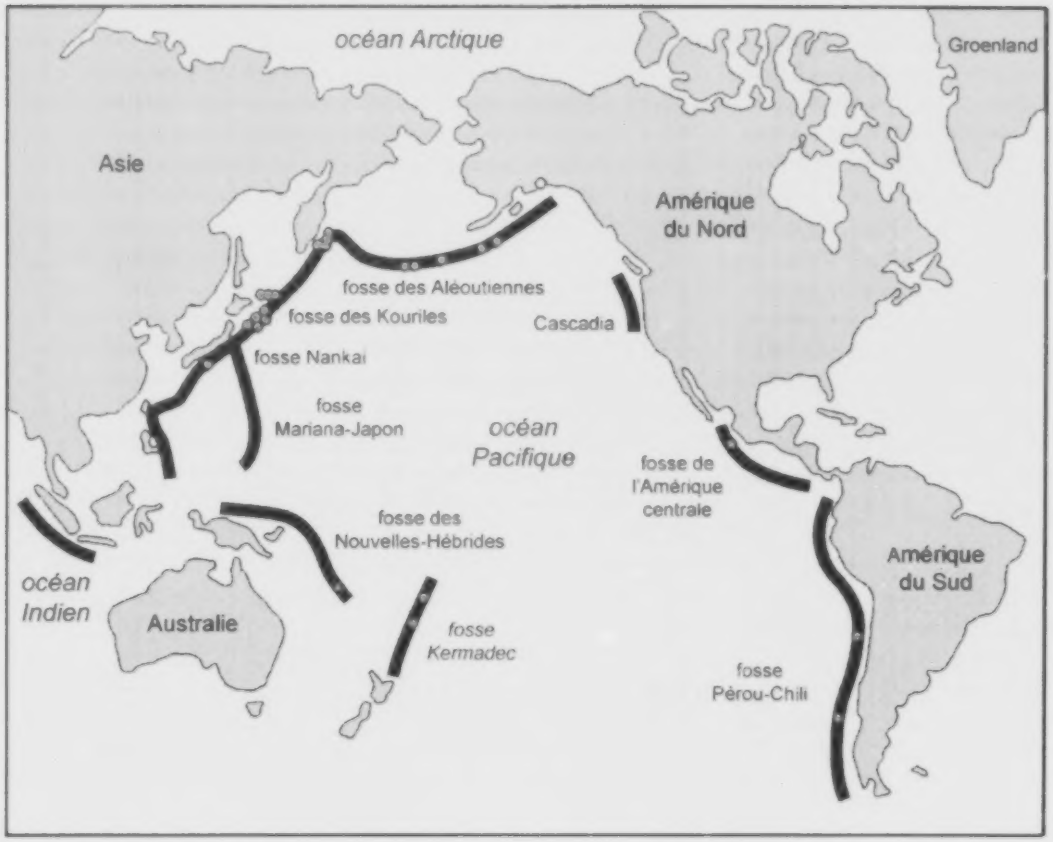
Ce ne sont toutefois pas tous les séismes qui engendrent des tsunamis. De nombreux facteurs contribuent au processus de production des tsunamis, incluant la magnitude et la profondeur des séismes, qu'il y ait ou non affaissement de sédiments, et l'efficacité avec laquelle l'énergie est transférée des plaques crustales à l'eau de l'océan. En raison de ces facteurs complexes, il n'y a pas de réponse simple à savoir quelle doit être la magnitude d'un séisme pour déclencher un tsunami. La tendance générale porte à croire qu'un séisme doit être d'une magnitude d'au moins 7,5 pour engendrer un tsunami capable de causer des dommages à de grandes distances de la source (Commission océanographique intergouvernementale, 2001; Dunbar et coll., 1989). Toutefois, des séismes de magnitudes beaucoup plus faibles peuvent engendrer des tsunamis locaux en déclenchant des glissements de terrain ou des affaissements côtiers et/ou sous-marins.

Le premier tsunami déclenché par un séisme à être enregistré s'est produit au large de la côte de la Syrie en 2000 avant J.-C. (NOAA, 2004a). Depuis 1900 (année qui a marqué le début de la détermination de l'emplacement des séismes à l'aide d'instruments), la plupart des tsunamis déclenchés par des séismes ont été engendrés dans des régions au large des côtes du Japon, du Chili, du Pérou, des Îles Salomon et de la Nouvelle-Guinée. Toutefois, les seules régions qui ont généré des télétsunamis (engendrés au loin) d'une ampleur suffisante pour toucher la totalité du bassin du Pacifique sont les îles Aléoutiennes, le golfe d'Alaska, la péninsule du Kamchatka et la côte de l'Amérique du Sud. Les régions insulaires comme Hawaii, situées au centre du bassin du Pacifique, ont subi les effets de tsunamis engendrés dans toutes les parties du Pacifique (NOAA, 2004b).

La mer des Caraïbes et la mer Méditerranée ont toutes deux de petites zones de subduction et des antécédents de tsunamis localement destructeurs. Dans l'Atlantique, il ne s'est produit que quelques tsunamis, principalement parce qu'il n'y a pas d'importantes zones de subduction aux limites des plaques pour engendrer de telles vagues, à l'exception de petites zones de subduction sous l'arc des Caraïbes et sous l'arc Scotia. Dans l'océan Indien, la plaque indo-australienne s'enfonce sous la plaque eurasienne à sa limite est. En conséquence, la plupart des tsunamis engendrés dans cette zone se propagent vers les rives sud-ouest de Java et de Sumatra, plutôt que dans l'océan Indien (NOAA, 2004b).

Dans l'océan Pacifique, la plupart des importants séismes ont été déclenchés par des séismes qui se sont produits à l'intérieur des zones de subduction. Au cours des 150 dernières années, les principales sources ont été la fosse des Kouriles et la fosse Nankai à l'est et au nord-est du Japon, la fosse des Aléoutiennes au sud de l'Alaska, et la fosse Pérou-Chili à l'ouest de l'Amérique du Sud (Clague, 2001).

Figure 4 Zones de subduction du Pacifique
(Source : Clague, 2001)



Dans l'océan Pacifique, la plupart des grands tsunamis ont été générés par d'importants séismes le long des bordures des zones de subduction, représentées à la figure 4 par des bandes rouges. Les points verts indiquent la source des tsunamis dont la hauteur a dépassé les 10 cm et qui ont été enregistrés au marégraphe Tofino sur la côte ouest de l'île de Vancouver (Clague, 2001, figure 3.).

Un exemple du pouvoir dévastateur d'un tsunami engendré par subduction est le tsunami d'Arica survenu le 16 août 1868 qui a été déclenché lorsqu'un séisme de magnitude 8,5 a secoué une zone de la fosse Pérou-Chili tout juste au large de la côte la plus au sud du Pérou. Après que Arica eut été gravement endommagé par la force du séisme, une vague de tsunami de 15 m a balayé la ville et a été suivie d'une vague encore plus haute évaluée à 18 m (NOAA, 2002a). Un navire de la Marine a été arraché de son amarrage et s'est fracassé contre les roches d'une île portuaire à proximité, tandis que deux autres navires ont été poussés à l'intérieur de la ville et se sont échoués à quelque 400 m de la plage. Les basses terres de la communauté ont été balayées par les vagues, éliminant toute trace, y compris les fondations des maisons et d'autres édifices qui s'y trouvaient auparavant (USC Tsunami Research Group, « The 1868 Arica Tsunami »).

Quelque 25 674 personnes ont péri à la suite du tsunami et du séisme (NOAA, 2002a). Les dommages ne se sont toutefois pas arrêtés là. Les communautés péruviennes situées au nord d'Arica, notamment Ilo/Pisco, Callao, Mollendo et Trujillo, ont également été endommagées par le tsunami, tandis que Tambo a été complètement détruite. Au sud d'Arica, le tsunami a sévèrement frappé la côte chilienne, ce qui a endommagé des navires à Caldera et complètement submergé la ville d'Iquique (USC Tsunami Research Group, « The 1868 Arica Tsunami »).

Au-delà de la côte sud-américaine, les vagues du tsunami ont balayé le nord et l'ouest. À Hawaii, des vagues de 4,5 m ont frappé le secteur riverain de Hilo, tandis que, plus à l'ouest, des vagues de 1,5 m ont inondé le port de Yokohama. En Nouvelle-Zélande, des jets de rive de 4,5 m et de 5,4 m ont atteint les villes d'Oamaru et de Lyttleton, respectivement. D'autres endroits touchés par le tsunami incluent l'Australie, le Samoa occidental, la Californie et l'Orégon (USC Tsunami Research Group, « The 1868 Arica Tsunami »).

Dans la deuxième partie du 20^{e} siècle, cinq tsunamis destructeurs à l'échelle du Pacifique se sont produits (1946 - Alaska, 1952 - Kamchatka, 1957 – îles Aléoutiennes, 1960 – Chili et 1964 - Alaska), tandis que des tsunamis dans des mers intérieures à la périphérie du Pacifique ont été particulièrement dévastateurs à l'échelle régionale (Commission océanographique intergouvernementale, 2001).

Plus près du Canada, le 4 avril 1946, un séisme de magnitude 7,8 a déclenché un important tsunami dans les îles Aléoutiennes. Il faut mentionner le jet de rive de 35 m sur l'île Unimak à proximité qui a été suffisamment puissant pour détruire complètement le phare de Scotch Cap de cinq étages nouvellement construit, tuant cinq occupants. Les vagues ont traversé l'océan Pacifique en direction sud-ouest et ont atteint les îles d'Hawaii en moins de cinq heures environ. Les jets de rive ont atteint 12 m dans la vallée Pololu. C'est toutefois Hilo qui a subi le plus de dommages, où on a mesuré un jet de rive de 8,1 m. Avant que le tsunami ne se dissipe finalement, on avait enregistré 165 morts et quelque 26 M$US en dommages (en dollars de 1946) (Clague et coll., 2003; Université de Washington, 2003).

L'impact violent de cet événement a sensibilisé les gens à la nécessité de mettre sur pied un système d'alerte aux tsunamis afin de protéger la population insulaire. Le 12 août 1948, le *Seismic Sea Wave Warning System* a été constitué. Son nom a été changé plus tard, pour devenir le Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique (Université de Washington, 2003).

3.1.2 Preuves de séismes tsunamigènes antérieurs

Malgré l'absence, au niveau local, de documents sur des événements antérieurs, d'anciens séismes tsunamigènes ont été identifiés grâce à une combinaison de méthodes. À la fin des années 80 et au cours des années 90, les scientifiques ont commencé à découvrir dans des dépôts de tourbe et de vase des nappes de sable déposées par des tsunamis dans des marais maritimes protégés, sur le Pacifique, le long des côtes de l'Orégon, de Washington et de l'ouest de l'île de Vancouver, ainsi qu'à des emplacements exposés aux vagues à l'extrémité est du détroit de Juan de Fuca (Williams et coll., 2003; Clague et coll., 2003; Hutchinson et coll., 1997). Ces nappes fournissent des données sur d'importants séismes et les tsunamis associés de la zone de subduction de Cascadia. Par exemple, des études de marais maritimes qui se sont affaissés à la suite de séismes de magnitude supérieure à 8 dans les États de Washington et de l'Orégon

démontrent cinq ruptures dans la zone de Cascadia au cours des 2600 dernières années (Atwater et Hephill-Haley, 1997; Clague 1997; Kelsey et coll., 2002). Des phénomènes de litage de sable associés aux tsunamis ont également été vérifiés à l'aide de photographies et de témoignages sur des tsunamis historiques au Japon, en Indonésie, à Hawaii et au Chili, et par l'observation des nappes supérieures laissées par le tsunami de 1964 en Alaska, mis à découvert dans des marais de l'île de Vancouver. Des nappes plus anciennes, plus épaisses et plus grossières trouvées à ces mêmes endroits indiquent des impacts de tsunamis plus anciens et plus importants que l'événement de 1964 (Clague, 2001).

Bien qu'il demeure problématique de prévoir quand le prochain tsunami catastrophique frappera la côte ouest, des études détaillées des paléosols dans le sud-ouest de l'État de Washington ont révélé que sept grands séismes avaient secoué cette zone au cours des 3500 dernières années, ce qui donne une récurrence moyenne d'environ 500 ans. Les études ont également révélé, toutefois, que les intervalles entre des événements successifs varient considérablement. Du nombre, trois se sont produits entre 3320 et 3500 ans et entre 2400 et 2800 ans avant le présent, et le suivant, entre 1550 et 1700 ans avant le présent. Par la suite, deux se sont produits entre 1130 et 1350 ans avant le présent et entre 900 et 1300 ans avant le présent respectivement; ensuite, entre 600 et 1000 ans se sont écoulés avant le plus récent événement, survenu il y a 300 ans (Clague, 2001).

Les scientifiques ont bien documenté le plus récent événement survenu le long de toute la zone de subduction, de la Californie à la Colombie-Britannique. Les preuves incluent la découverte de plantes et d'arbres dans les marais avant l'affaissement du sol et la datation subséquente au radiocarbone d'échantillons avec une exactitude de 10 à 20 ans. La corroboration de cet événement nous vient aussi de documents historiques japonais qui traitent des dommages subis sur 1000 km de la côte du Japon résultant d'un télétsunami dont la hauteur à l'arrivée dépassait 3 m, alors qu'aucun séisme n'avait été ressenti. Un processus d'élimination a permis d'établir que le tsunami avait probablement été engendré par un important séisme au large de la côte ouest de l'Amérique du Nord (Satake, K. et coll., 1995).

Ces preuves péremptoires d'importants séismes tsunamigènes près de la côte de la Colombie-Britannique ont poussé les scientifiques à obtenir une meilleure compréhension des jets de rive et des courants associés aux tsunamis, particulièrement à la suite de l'installation massive de gens près de la côte au cours des dernières années. Une grande partie de l'étude plus détaillée a débuté en 1990. À l'aide de modèles hydrologiques numériques, Ng et coll. (1990) ont fait les premiers calculs des déplacements de la surface de la mer et des temps de parcours des tsunamis pour différentes régions côtières de la Colombie-Britannique. Des amplitudes de vagues simulées ont été tracées pour les principaux emplacements de marégraphes et certaines des régions côtières les plus densément peuplées. Les modèles indiquaient, comme dans les études précédentes (Dunbar et coll., 1989), qu'à chaque emplacement, la topographie locale, la bathymétrie, la configuration du rivage, l'ampleur de la réfraction et l'excitation de la résonance influent sur les modèles des vagues (Ng et coll., 1990).

Il a été démontré que les zones les plus touchées se situaient le long de la côte ouest de l'île de Vancouver en raison de la proximité des sources. En particulier, à la tête du bras de mer Alberni, on a démontré par résonance que les vagues se sont amplifiées de façon dramatique; soit jusqu'à

trois fois celles de la baie Barkley (5 m), à l'entrée du bras de mer Alberni. Dans le détroit Georgia, bien qu'il soit abrité par l'île de Vancouver et que les vagues y soient atténuées par la friction, les amplitudes pouvaient atteindre jusqu'à un mètre (Ng et coll., 1990), ce qui serait suffisant pour menacer les zones densément peuplées le long du fleuve Fraser, particulièrement si le tsunami arrive à marée haute et au cours d'une crue printanière annuelle.

Actuellement, le Service hydrographique du Canada arrive au terme d'une étude de modélisation de trois ans pour la prévision des courants et des changements des niveaux d'eau côtiers dans les ports du sud de la Colombie-Britannique causés par un tsunami qui pourrait être déclenché par un mégaséisme de compression dans la zone de subduction de Cascadia. L'étude utilise le même modèle que celui qui a été utilisé par la NOAA aux États-Unis pour étudier les effets des tsunamis le long de la côte ouest des États de Washington, de l'Orégon et de la Californie, et dans les voies navigables intérieures contiguës du Canada et des États-Unis. L'adoption d'un modèle commun permet le partage des données (p. ex. données bathymétriques) et la combinaison des résultats afin de couvrir la totalité de la zone de Cascadia. Ce dernier effort de modélisation utilise également des quadrillages bathymétriques à mailles plus fines de plusieurs ordres de magnitude que les études précédentes effectuées par Ng et autres afin de donner des résultats plus précis et un meilleur aperçu des variations à l'intérieur des ports (ITSU, 2003).

Une fois complétée, l'étude aura modélisé les ports de la côte ouest de l'île de Vancouver qui sont les plus susceptibles d'être touchés par les tsunamis déclenchés dans la zone de subduction de Cascadia. Des quadrillages côtiers intermédiaires (résolution de 50 à 100 m) et des quadrillages de grande résolution (résolution de 10 à 20 m) pour les ports et les approches des ports sont produits afin de permettre une modélisation plus exacte des effets des inondations. Dans certains cas, on utilise le LIDAR topographique pour produire des quadrillages encore plus fins. Les premiers travaux concernaient les ports de Victoria et d'Esquimalt situés à l'extrémité sud de l'île de Vancouver, pour lesquels un grand nombre de données numériques étaient déjà disponibles (ITSU, 2003). Les deux ports se trouvent à environ 110 km de l'embouchure du détroit de Juan de Fuca. Les résultats des premières séquences d'utilisation des modèles indiquent que les amplitudes maximales en dehors des ports du détroit de Juan de Fuca sont d'environ deux mètres, ce qui est comparable aux études de modélisation précédentes. Dans les ports, la réponse est toutefois très différente. Dans le port de Victoria, l'amplitude maximale était d'environ trois mètres, mais dans le port d'Esquimalt, l'amplitude maximale atteignait presque les cinq mètres. Dans les deux ports, les courants maximaux dépassaient les cinq mètres/seconde (ITSU, 2003).

3.1.3 Volcans et tsunamis

Bien que rares, les tsunamis déclenchés par les volcans sont parmi les plus spectaculaires. En 1490 avant J.-C., l'éruption et l'effondrement du volcan Santorin, au large de la côte sud-est de la Grèce, ont engendré un gigantesque tsunami qui a décimé la majeure partie des colonies minoennes de la mer Égée. On spécule que la légende de l'Atlantide pourrait bien être basée sur ce désastre. Plus récemment, le 26 août 1883, une des plus importantes éruptions volcaniques de l'histoire est survenue en Indonésie, entraînant l'effondrement du cratère de Krakatoa et la formation de vagues de tsunami d'une hauteur de 40 m. Quelque 300 villes et villages ont été détruits, causant la mort de près de 40 000 personnes sur les îles de Java et de Sumatra (Commission océanographique intergouvernementale, 2001).

3.1.4 Tsunamis déclenchés par des glissements de terrain côtiers, des chutes de pierre et de glace, et des affaissements sous-marins

Bien que l'énergie de leurs vagues se dissipe rapidement lorsque les tsunamis traversent de grandes étendues d'eau, les tsunamis engendrés par des éboulements et des glissements de terrain soudains peuvent être extrêmement destructeurs à proximité de leur source. En fait, le plus important tsunami enregistré est survenu à la suite d'un éboulement.

Le soir du 7 juillet 1958, un séisme de magnitude 8 a secoué la terre le long de la faille Fairweather en Alaska qui borde la baie sous la paroi abrupte d'un rocher. L'intense vibration a déclenché un glissement rocheux massif le long du côté est du bras de mer Gilbert qui s'est écroulé dans la baie, générant d'énormes vagues qui ont propulsé l'eau à une hauteur de quelque 520 m sur le côté opposé du bras de mer. Le mur d'eau a inondé environ 13 km^2 de terre le long des rives de la baie Lituya, une partie de l'eau a même couvert jusqu'à 1100 m à l'intérieur des terres, faisant tomber des millions d'arbres et dénudant la rive jusqu'à la roche. La vague déchaînée s'est abattue sur deux plaisanciers en haute mer et les a tués. D'autres plaisanciers dont le bateau était ancré dans la baie ont miraculeusement survécu (USC Tsunami Research Group, « 1958 Lituya Bay »).

Les glissements de terrain sous-marins sont également capables d'engendrer d'importants tsunamis. Ils peuvent être engendrés par de nombreux déclencheurs naturels et anthropiques, incluant les séismes, les éruptions volcaniques sous-marines et les travaux de construction. D'autres causes incluent des gaz qui, immobilisés sous des couches de sédiments à la bordure de plates-formes continentales, entraînent le glissement des sédiments, qui descendent et déclenchent d'énormes vagues (Clague et coll., 2003).

En 1998, un événement catastrophique a amené les scientifiques à porter attention à ce phénomène. Le soir du vendredi 17 juillet 1998, environ 20 minutes après un fort séisme régional, trois vagues importantes ont inondé la côte d'Aitape en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Des vagues d'une hauteur de 10 à 15 m ont complètement détruit trois villages, à un point tel qu'il n'en restait presque plus de trace. Quelque 2200 personnes ont perdu la vie, 1000 ont été grièvement blessées, tandis que 10 000 personnes ont perdu leur foyer (International Tsunami Survey Team, 1998).

Au départ, les experts ne comprenaient pas que de si grandes vagues puissent être produites par un séisme modéré (de magnitude 7,1) et que la vague soit si concentrée, la majeure partie de son énergie étant dirigée vers un secteur étroit de la côte. Après des enquêtes approfondies à la suite de l'événement, la plupart des scientifiques croient maintenant que le tsunami a été causé par un glissement de terrain ou un affaissement sous-marin, qui avait vraisemblablement été déclenché par le premier séisme. Cette constatation a alerté les communautés du monde entier de la possibilité que des tsunamis catastrophiques puissent être déclenchés par un mouvement de masse gravitaire sous-marin, et ce, même sans qu'il y ait rupture de faille (International Tsunami Survey Team, 1998).

3.1.5 Explosions et tsunamis

Au 20e siècle, une nouvelle catégorie a été ajoutée à la liste des causes possibles des tsunamis : les tsunamis résultant d'explosions engendrées par les humains. Au cours de la Première Guerre mondiale, le 6 décembre 1917, le navire de munitions Mont Blanc qui transportait l'équivalent d'environ 2900 tonnes américaines de TNT est entré en collision avec le navire de secours Imo dans le port de Halifax. Un incendie a éclaté et, lorsque le navire a dérivé dans le port du côté de Halifax, il a explosé, tuant environ 2000 habitants et en blessant quelque 9000 autres. On croit que bon nombre de ces personnes ont été tuées par un tsunami résultant. À l'aide de rapports narratifs historiques, des prévisions des marées et des données sur les marées d'avant et après les guerres mondiales, les chercheurs ont réussi à modéliser l'événement et ont évalué que l'amplitude du tsunami avait été de deux à quatre mètres (Greenberg et coll., 1993).

3.1.6 Tsunamis engendrés par des bolides

Bien qu'extrêmement rare, la chute de gros météorites et d'astéroïdes dans les océans de la Terre a la capacité de générer des tsunamis cataclysmiques. On estime qu'un astéroïde d'une dimension de cinq à six kilomètres qui frapperait l'océan Atlantique pourrait raser les villes côtières des deux côtés de l'océan. Un objet de taille similaire qui frapperait entre Hawaii et la côte ouest de l'Amérique du Nord pourrait détruire les villes côtières du Canada, des États-Unis et du Mexique en plus de la plupart des régions côtières non habitées d'Hawaii (Commission océanographique intergouvernementale, 2001).

3.2 Risque de tsunamis le long de la côte ouest du Canada

Les tsunamis qui menacent la côte ouest du Canada se classent généralement en trois types :

- les télétsunamis;
- les tsunamis locaux (marins);
- les tsunamis locaux (terrestres).

3.3 Télétsunamis

La côte ouest canadienne est vulnérable aux effets des tsunamis engendrés à de nombreux emplacements le long des zones de subduction du littoral du Pacifique. Ces événements sont rares et causent souvent peu ou pas de dommages. Par exemple, Clague (2001) a signalé qu'entre 1906 et 1981, seulement deux des 43 tsunamis enregistrés au marégraphe de Tofino, sur la côte ouest de l'île de Vancouver, ont engendré des vagues de plus d'un mètre de hauteur. À l'occasion toutefois, un séisme de grande magnitude engendre un important tsunami qui peut causer de graves dommages et des pertes de vie. Au cours du dernier siècle, le plus dangereux et plus important tsunami enregistré à avoir frappé la côte ouest du Canada avait été déclenché par un séisme de subduction d'une magnitude de 9,2 dans le golfe du Prince-William (Alaska) le 27 mars 1964. En quelques heures, il a atteint les îles de la Reine-Charlotte et deux heures plus tard, il a balayé la côte ouest de l'île de Vancouver, entrant dans les baies et chenaux se trouvant sur son passage. De nombreuses communautés de la Colombie-Britannique ont été touchées, notamment Hot Springs Cove, Zebellos et Port Alberni. Les dommages ont été évalués à environ 10 millions de dollars (en dollars de 1964). Heureusement, il n'y a eu aucun décès (Clague,

2001; Dunbar et coll., 1989; White, 1966). D'autres détails concernant cet événement seront donnés plus loin dans le présent rapport.

Malheureusement, il n'est pas possible de se préparer à l'avance pour faire face à ce type d'événements étant donné qu'il est actuellement impossible de prévoir avec exactitude les séismes futurs. En conséquence, le temps de parcours du prochain tsunami est également inconnu (Dunbar et coll., 1989). Toutefois, lorsqu'un important séisme se produit à un endroit quelconque dans la région du Pacifique, les vagues sismiques sont enregistrées par un réseau de stations sismiques en l'espace de quelques minutes. Les lectures de ces stations sont corrélées pour déterminer l'emplacement du séisme. Toutefois, avant que les effets d'un tsunami ne soient signalés par un marégraphe, il est rare que l'on sache si un tsunami a effectivement été engendré. Des retards au niveau de la détection peuvent également se produire en raison de la distance entre la source de l'événement et le marégraphe le plus proche (White, 1966).

Malgré ces incertitudes, d'après l'analyse d'événements historiques, de relevés culturels locaux et autres (McMillan et Hutchinson, 2002), l'analyse de carottes et de matériaux prélevés dans les tranchées de marais maritimes (Williams et coll., 2003), et les données scientifiques actuelles sur le mouvement des plaques tectoniques, les scientifiques ont conclu qu'il est fort probable que d'importants tsunamis se produisent de nouveau et que les risques pour les personnes et les propriétés sont très réels. De plus, il est maintenant possible, grâce à des systèmes informatiques perfectionnés, d'utiliser ces données pour élaborer des modèles mathématiques de la génération de vagues de tsunamis et des effets de propagation et, par conséquent, d'identifier les régions du littoral du Pacifique qui sont les plus susceptibles de générer les tsunamis les plus importants le long de la côte de la Colombie-Britannique. Cette méthodologie permet une certaine souplesse dans la détermination des régions sources des tsunamis et des mécanismes de génération, ainsi que l'assimilation de la bathymétrie et des entités topographiques complexes des cours d'eau côtiers (Dunbar et coll., 1989).

En 1989, une étude a été menée pour déterminer les hauteurs de vagues représentatives et les vitesses des courants le long de la côte de la Colombie-Britannique qui sont susceptibles d'être engendrés par d'importants séismes autour de la côte du Pacifique (Dunbar et coll., 1989). C'était la première fois que des méthodes de modélisation numérique avaient été appliquées à cette région à une telle échelle afin d'obtenir une valeur approximative des hauteurs maximales des vagues de tsunamis. Les estimations antérieures avaient été uniquement basées sur l'expérience, l'intuition ou les méthodes statistiques appliquées aux dossiers historiques sur les tsunamis (Dunbar et coll., 1989). Voici les objectifs clés énoncés de l'étude :

- dériver un jeu de modèles numériques pour la génération et la propagation des tsunamis depuis leurs points d'origine jusqu'au fond des bras de mer le long de la côte de la Colombie-Britannique;
- étudier la sensibilité aux niveaux d'eau des tsunamis dans les bras de mer à différents emplacements sources (effet directionnel sur les niveaux d'eau) et à la force de la source par la variation de la magnitude des mouvements de fond;
- identifier la région source qui est susceptible de produire les plus importants tsunamis le long de la côte de la Colombie-Britannique depuis les épicentres situés en Alaska, au Chili, dans les îles Aléoutiennes (col Shumagin) et au Kamchatka;

- déterminer les niveaux d'eau maximum attendus à chaque emplacement sélectionné le long de la côte de la Colombie-Britannique pour des séismes aux sources identifiées ci-haut et déterminer les bras de mer critiques dans lesquels les tsunamis sont amplifiés en raison de la topographie; et
- identifier les zones dans les bras de mer modélisés où de grandes vitesses de courants résulteront du passage d'une vague de tsunami (Dunbar et coll., 1989).

À l'origine, l'étude de l'activité sismique dans l'océan Pacifique était surtout concentrée dans les zones où les plaques océaniques, s'enfonçant sous les masses continentales, produisent d'importants séismes de façon intermittente. D'autres zones actives, comme les îles Hawaii, étaient exclues du fait que leurs séismes ne présentent pas de menace de tsunami destructeur dans les eaux de la Colombie-Britannique (Dunbar et coll., 1989).

On a identifié quatre régions sources précises pour lesquelles on a simulé des déplacements du plancher océanique. Il s'agit des régions sources des séismes tsunamigènes de 1960 au Chili et de 1964, et des séismes hypothétiques des régions de Shumagin et de la péninsule de Kamchatka. L'étude tenait compte du fait que les tsunamis qui arrivent sur la côte ouest de la Colombie-Britannique se propagent dans tous les réseaux de bras de mer exposés. Vingt de ces réseaux les plus exposés ont été étudiés à l'aide de données de bathymétrie détaillée et de données transversales et de superficie. Le séisme de 1964 en Alaska a donné l'occasion de vérifier le système de modélisation à l'aide d'un événement tsunamigène bien documenté (Dunbar et coll., 1989).

L'étude a permis d'effectuer un certain nombre de constatations importantes :

- La formation et la propagation des vagues de tsunami à la tête des bras de mer de la C.-B. peuvent être modélisées avec succès. D'après la simulation du tsunami de 1964 en Alaska, les arrivées des vagues avaient été prédites avec une exactitude de moins de deux pour cent; les amplitudes des vagues initiales avec une exactitude inférieure à 20 cm; et les amplitudes des vagues subséquentes, avec une exactitude de moins de 15 pour cent.
- La hauteur des vagues de tsunamis est fortement influencée par l'emplacement de la source et la magnitude. Les séismes modélisés dans les deux zones les plus proches, le séisme de 1964 en Alaska et celui du col Shumagin des îles Aléoutiennes, ont produit les vagues les plus grosses et les courants les plus forts.
- Les niveaux d'eau maximum modélisés varient grandement d'une région à l'autre le long de la côte de la Columbie-Britannique. Les six zones géographiques résumées au tableau 1 indiquent les zones critiques qui sont sujettes à des vagues de grande amplitude. Sauf certaines exceptions, les estimations ont été fondées sur l'occurrence d'un séisme tsunamigène de très grande magnitude dans la région du col Shumagin des îles Aléoutiennes.
- Le Chili, le point source le plus éloigné, a produit les plus petites vagues et n'est pas considéré comme une source probable de tsunamis d'amplitude supérieure à 1,5 m dans les bras de mer côtiers.
- La crête la plus haute d'une série de vagues de tsunamis n'est souvent pas la première à arriver. En conséquence, il faut prévoir le comportement d'une série de vagues à l'intérieur des bras de mer, ce qui demande en retour, un traitement réaliste des conditions aux limites, plus particulièrement du côté de la terre.

- Le principal obstacle à une estimation plus exacte des hauteurs des vagues de tsunamis pour des sources particulières est l'incertitude associée à la spécification des déplacements du fond qui résulteront d'un séisme qui se produit à la source.

Tableau 1 Amplitudes maximales des tsunamis résultant de séismes de subduction dans l'océan Pacifique nord (Source : Dunbar et coll., 1989)

Zone	Emplacement	Hauteur (m)	Lieu de la source
Côte nord	Près de la tête du bras de mer Khutzeymateen	3,5	Alaska
	Dans le bras Hastings	3 – 3,5	Alaska
	Près de Stewart	3,5 – 4	Alaska
Côte centrale nord	À l'ouest de l'île Princess Royal	3,5 – 4,5	Shumagan
	Bras de mer Cousins	4,2	Shumagan
	Tête du chenal Spiller	7,2	Alaska
	Tête du passage Laredo	5,6	Shumagan
	Tête du bras de mer Surf	3,3	Shumagan
Côte centrale sud	Têtes des bras de mer Rivers et Moses	3,3 – 9,2	Shumagan
	Bras de mer Smith (augmente vers la tête)	6 – 9,3	Alaska
Côte nord-ouest de l'île de Vancouver	Passage Quatsino	5,5 – 7,2	Shumagan
	Bras de mer Neroutsos	jusqu'à 9	Shumagan
	Passage Quatsino	8 – 8,5	Shumagan
	Tête du bras de mer Holberg	3,4	Shumagan
	Bras de mer Forward	6 – 7	Shumagan
	Klaskino	5 – 6	Shumagan
	Tête du bras de mer Quoukinsh	> 10	Shumagan
Côte centrale de l'île de Vancouver	Bras de mer Nuchalitz	3,5 – 4,5	Shumagan
	Bras de mer Muchalat et Tlupana (augmente vers les têtes)	4,5 – > 10	Shumagan
	Extrémité sud du bras de mer Tahsis	3,5 – 4,5	Shumagan
	Tête du bras de mer Tahsis	3	Shumagan
	Bras de mer Port Eliza et Espinosa	3,6–7,6	Shumagan
	Passage Nootka	3,5	Shumagan
Côte sud de l'île de Vancouver	Bras de mer Sydney	3 – 4	Shumagan
	Bras de mer Pipestem et Effingham	4 – 8	Shumagan
	Bras de mer Alberni (augmente vers la tête)	3 – 8	Shumagan

Ces constatations indiquent que de nombreux bras de mer côtiers de la Colombie-Britannique pourraient être frappés par de très hautes vagues de tsunamis, certaines de plus de 10 m de hauteur, accompagnées de courants maximum pouvant atteindre jusqu'à 5 m/s (Dunbar et coll., 1989).

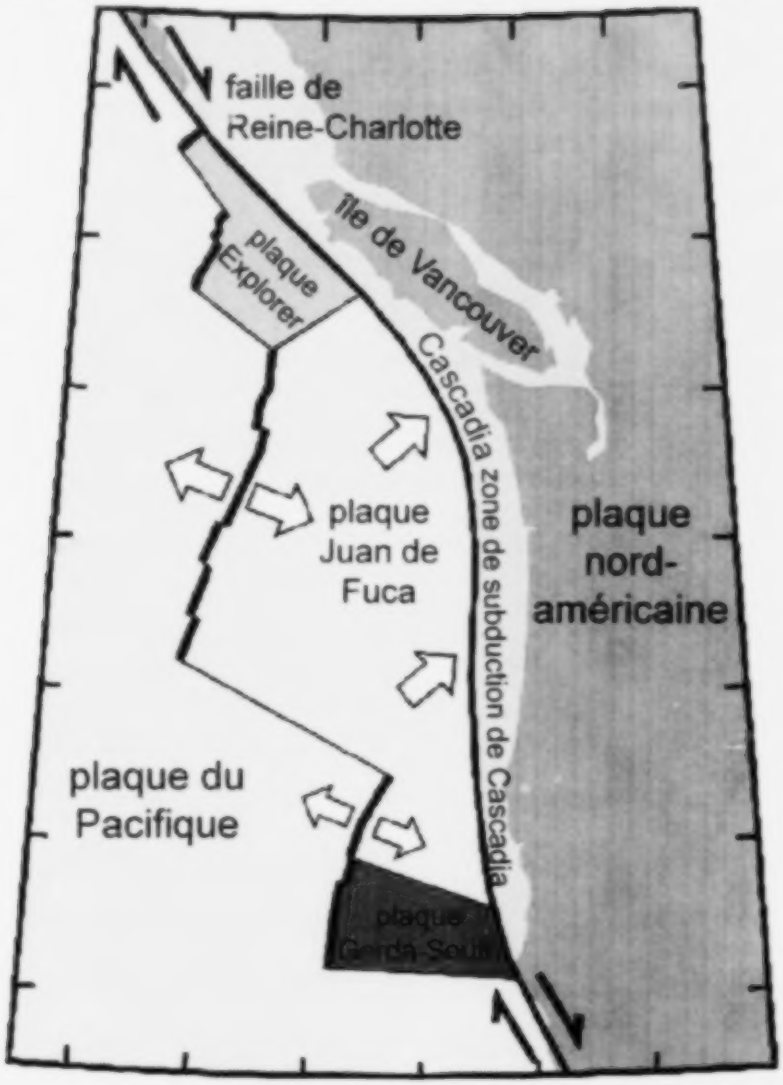
Les résultats des modèles ont été utilisés pour préparer des cartes et des tableaux montrant les plus importants courants et hauteurs de vagues pour chaque source, à plusieurs endroits le long de la côte de la Colombie-Britannique. Ces emplacements ont surtout été choisis en fonction de l'activité humaine locale, notamment des villages des Premières Nations, des cantons, des aires de flottage de billes et de développement industriel (Dunbar et coll., 1989).

3.3.1 Tsunamis locaux – marins

Malgré la menace sérieuse que posent les tsunamis en champ lointain en Colombie-Britannique, les séismes tsunamigènes locaux constituent une menace encore plus grande. Pour les habitants de la Colombie-Britannique, il est difficile de concevoir une telle menace parce que, pour bon nombre d'entre eux, les impacts des tsunamis ne font pas partie de leur mémoire culturelle contemporaine. Depuis le peuplement post-colonial de la Colombie-Britannique, on a enregistré un seul tsunami déclenché par un séisme local. En 1946, un fort séisme (de magnitude 7,3) s'est produit à proximité de la rivière Campbell sur la côte est de l'île de Vancouver. Un déplacement de 3 m du plancher océanique a été associé à ce séisme (Murty et Crean, 1986). Ce séisme demeure le plus fort séisme terrestre enregistré au Canada. Bien qu'aucun tsunami important n'ait été enregistré, quelques petits déplacements de niveaux d'eau se sont produits à la suite de glissements de terrain et d'affaissements déclenchés par le séisme. Des simulations numériques des perturbations des niveaux d'eau qui se sont produites à la suite de séismes ont révélé qu'il est peu probable qu'un tsunami serait déclenché à l'échelle du détroit de Georgia, mais que des perturbations des niveaux d'eau seraient suffisantes pour être remarquées et potentiellement destructrices (Murty et Crean, 1986).

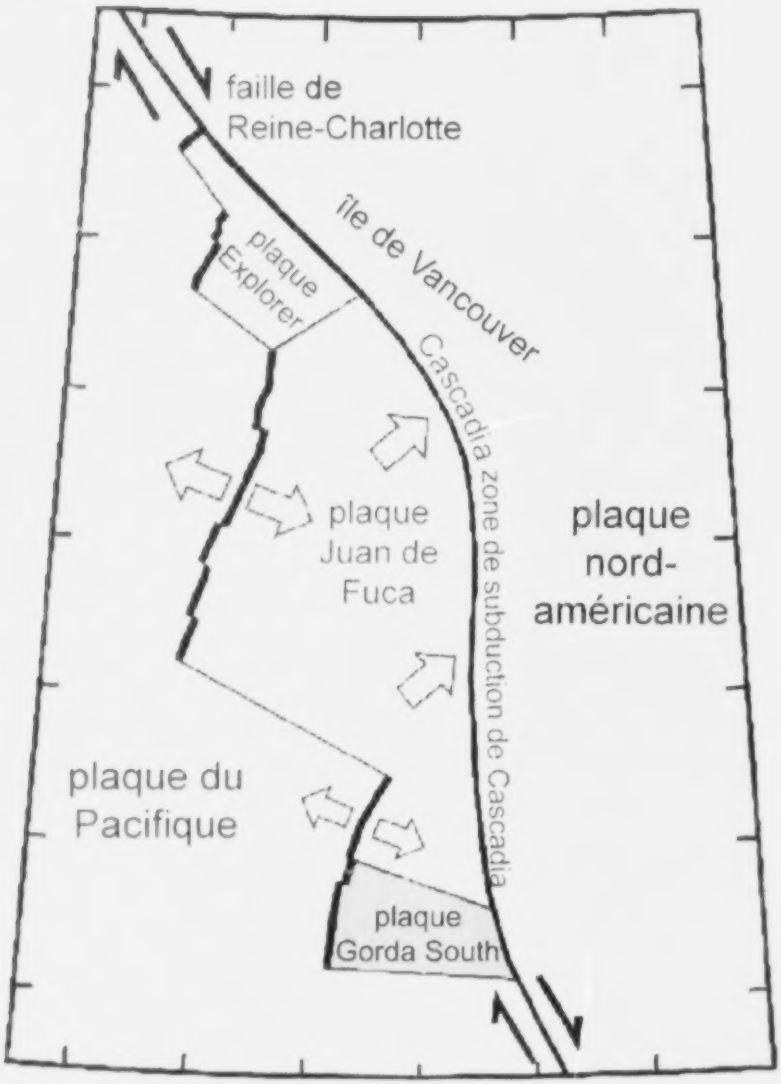
L'absence de tsunamis déclenchés par des séismes locaux au cours des dernières années ne diminue toutefois pas la gravité de leurs risques. En fait, historiquement, certains des plus importants séismes et tsunamis associés en Amérique du Nord se sont produits le long de 1100 km de la zone de subduction de Cascadia qui se trouve à environ 100 à 150 km de l'île de Vancouver du côté de la mer, à la convergence des plaques continentale et océanique. La zone s'étend depuis le nord de l'île de Vancouver vers le sud, jusqu'à un endroit au large de la partie nord de la Californie. La zone se compose de trois principaux segments : la plaque Explorer, la plaque Juan de Fuca et la plaque Gorda South (Ng et coll., 1990).

Figure 5 Zone de subduction de Cascadia
(Source : John Clague, USF)



Deux attributs distinctifs ont été signalés à propos de cette zone (Heaton et Kanomori, 1984; Heaton et Hartzell, 1987; Rogers, 1988; Dragert et Rogers, 1988) : 1) l'absence de séismes de compression superficielle sur l'interface de la plaque depuis que le contact européen a été établi dans la région il y a plus de 200 ans; et 2) les segments de subduction sont relativement jeunes – de six à dix millions d'années. On considère que ces attributs favorisent un couplage fort entre les plaques continentales de Cascadia et nord-américaine en raison de leur très bonne flottabilité.

Figure 5 Zone de subduction de Cascadia
(Source : John Clague, USF)



Deux attributs distinctifs ont été signalés à propos de cette zone (Heaton et Kanamori, 1984; Heaton et Hartzell, 1987; Rogers, 1988; Dragert et Rogers, 1988) : 1) l'absence de séismes de compression superficielle sur l'interface de la plaque depuis que le contact européen a été établi dans la région il y a plus de 200 ans; et 2) les segments de subduction sont relativement jeunes de six à dix millions d'années. On considère que ces attributs favorisent un couplage fort entre les plaques continentales de Cascadia et nord-américaine en raison de leur très bonne flottabilité.

ce qui permet une force importante d'un bout à l'autre des interfaces des plaques, et en raison de leur souplesse, ce qui offre une grande superficie de contact (Ng et coll., 1990).

Des études menées au cours de la dernière décennie ont confirmé que les parties en mer peu profonde de la zone de failles sont en fait bloquées, et que l'accumulation de stress déclenchera éventuellement un important séisme (Dragert et coll., 2001). En 1992, la Commission géologique du Canada a commencé à utiliser les instruments du système mondial de localisation (GPS) pour surveiller la déformation en cours dans la région côtière sud de la Colombie-Britannique à une résolution de 1 mm par année. En ce moment, quelque 40 sites GPS surveillent en continu le mouvement de la croûte terrestre le long de la zone de Cascadia depuis le nord de la Californie jusqu'au sud-ouest de la Colombie-Britannique. Des études des données recueillies révèlent des mouvements à long terme moyens allant jusqu'à 15 mm par année en raison du blocage des failles dans la zone de subduction peu profonde (Commission géologique du Canada, 2003). De plus, des sites faisant l'objet de surveillance dans le nord-ouest de l'État de Washington et le sud-ouest de la Colombie-Britannique semblent converger à la suite d'une déformation qui se forme au large le long de la faille de subduction de Cascadia. L'analyse des données GPS a également permis aux sismologues de découvrir qu'en 1999, une grappe de sept sites s'est brièvement retrouvée en direction inverse à cause d'un glissement sans qu'il n'y ait détection concourante d'activité sismique. Ces événements de glissement asismiques (silencieux) semblent se produire sur l'interface plus profonde de la zone de subduction de Cascadia et jouent, en théorie, un rôle contributif clé dans la charge de stress cumulative de la zone de failles. Chacun de ces événements fait en sorte que la zone bloquée se trouve de plus en plus proche de son point de rupture (Dragert et coll., 2001). On croit maintenant que le processus de glissement profond qui mène aux mégaséismes de compression est responsable des séismes de magnitude 8,4 de 1944 et 1946 de la fosse Nankai, et de magnitude 9,5 en 1960 au Chili, ce qui donne à penser qu'un accroissement du risque sismique peut accompagner des événements de glissement silencieux (Dragert et coll., 2001).

Plus récemment, des progrès au niveau de la détection ont révélé une activité sismique mesurable associée au glissement. L'analyse d'une séquence d'événements (de 1997 à 2003) a permis d'observer que des secousses soutenues dans la partie sud de l'île de Vancouver coïncidaient avec un épisode de glissement (Rogers et Dragert, 2003), phénomène désigné par l'expression secousse et glissement épisodiques. On prévoit qu'une étude future qui mettra en corrélation la détection des mouvements sismiques et les mesures par GPS de ces mouvements permettra de mieux comprendre le comportement de subduction et le danger sismique qui l'accompagne, en plus d'en arriver à la surveillance en temps réel du potentiel sismique des méga-événements de compression (Commission géologique du Canada, 2001).

Étant donné que les segments de la zone de Cascadia n'ont pas tous le même âge, il existe une certaine incertitude à savoir si la rupture de ces segments peut se produire en même temps ou indépendamment. En supposant qu'elle se produise en même temps, Ng et coll. (1990) prévoient une magnitude de plus de neuf et des magnitudes d'environ huit si la rupture se produit indépendamment. Rogers et Dragert (2003) ont indiqué que lors de cinq des six événements de secousse et glissement épisodiques récemment observés, les secousses continuaient à se déplacer vers le nord le long de l'axe de l'île de Vancouver et, ensuite, au-delà de la portée de la couverture GPS. À ce jour, ils n'ont pas encore été en mesure de déterminer si les événements de

glissement se produisent partout le long de la marge de Cascadia et, le cas échéant, s'ils sont de nature identique. Si des différences régionales au niveau de l'intervalle de récurrence et de la magnitude des événements de glissement existent, peut-être aurons-nous alors quelques indices à propos de la probabilité de rupture des segments individuels (Dragert, 2004).

3.3.2 Tsunamis locaux – terrestres

Les tsunamis locaux engendrés par des glissements de terrain terrestres et sous-marins constituent également un danger pour les gens et les propriétés des régions maritimes et d'eau douce de la Colombie-Britannique. Par exemple, en 1975, un important glissement de terrain sous-marin à la tête du chenal Douglas a déclenché un tsunami local dont l'amplitude de vague a été évaluée à 8 m; l'eau a été perturbée pendant environ une heure (Murty, 1979). La vague a causé pour quelque 600 000 $ de dommages (Clague, 2001) aux bateaux, quais et autres propriétés du port de Kitimat.
Dans la région du Lower Mainland de la Colombie-Britannique, les dangers des tsunamis ont depuis toujours été considérés comme peu probables dans le cadre de la planification urbaine de la communauté. De nombreuses régions du bassin du fleuve Fraser, plus particulièrement des parties du canyon Fraser, sont sujettes à d'importants glissements de terrain. Même dans la région métropolitaine de Vancouver, il existe diverses formes de dangers des tsunamis. Par exemple, le 28 février 1880, 27 acres de terres agricoles, situées du côté nord du fleuve Fraser à Haney (maintenant Maple Ridge), ont glissé dans le fleuve Fraser. Tout en demeurant en position verticale, des sapins d'une forêt naturelle ont glissé sur plus d'un demi-kilomètre avant d'aboutir dans l'eau. La terre et les débris ont presque bloqué le fleuve, ce qui a causé le déplacement d'une vague d'une hauteur de 12 m. La force de la vague résultante a balayé le fleuve, couchant les arbres comme s'ils étaient des allumettes et dépouillant les sapins géants de leurs branches sur les 6 m du bas (à partir des racines). La force de la vague a emporté un homme et l'a projeté de l'autre côté de son verger. Son fils a retrouvé son corps dans un arbre (Waite, 2000). De nos jours, les plaines inondables de la vallée du bas Fraser abritent les maisons de quelque 300 000 personnes ainsi que de nombreuses installations industrielles clés de la province.

Il y a environ 42 ans, une autre source potentiellement encore plus importante de danger de tsunami local a été identifiée dans le détroit de Georgia. Cette zone, située entre la partie continentale de la Colombie-Britannique et l'île de Vancouver, est un bassin dont la base est constituée d'une épaisse sédimentation qui reflète un historique d'affaissement intermittent. Bien que cette masse d'eau soit à l'abri des grands tsunamis engendrés dans l'océan Pacifique, elle peut être sujette à d'importants tsunamis d'origine interne. Récemment, le Service hydrographique du Canada (Commission océanographique intergouvernementale, 2003) a effectué une modélisation numérique des tsunamis déclenchés par des glissements de terrain dans le détroit de Georgia pour deux zones de dépôts de sédiments potentiellement instables suggérant la nécessité d'évaluer de nouveau les risques des tsunamis lors de la planification sociale et économique régionale et communautaire de toute la région du bassin.

3.3.3 Seiches

Un autre phénomène, souvent appelé tsunami par erreur en raison de ses effets similaires, est la *seiche*: une oscillation d'une masse d'eau confinée générée par des vagues sismiques. Un exemple est la seiche locale dans le lac Comox générée par le séisme de la rivière Campbell en

1946 dont l'ampleur a causé des dommages et la mort d'un homme dont le canot a été renversé par l'une des vagues (Barlow, 1993).

Elles peuvent également se produire à une très grande distance de la source d'un séisme. À la suite du séisme de 1964 en Alaska, des seiches générées dans des masses d'eau continentales ont été signalées depuis un certain nombre d'endroits en Colombie-Britannique. Dans la partie sud de la région de l'Okanagan, on a observé que le niveau du lac Osoyoos avait monté d'environ un tiers de mètre le long de la rive. On a remarqué la même chose pour le lac Sproat près de Port Alberni. Des fractures de glace ont été signalées dans de nombreux lacs du nord-ouest et du centre nord de la Colombie-Britannique (White, 1966). Un mégaséisme de compression le long de la zone de subduction de Cascadia pourrait générer de nombreuses seiches en Colombie-Britannique.

3.4 Incidences des tsunamis

Comme on l'a déjà mentionné, plusieurs facteurs font en sorte que les dangers des tsunamis sont difficiles à étudier à l'aide de méthodes statistiques classiques. Parce que ces événements ne se produisent pas à intervalles réguliers et que leurs incidences réelles peuvent grandement varier, les seules données fiables sont celles d'événements qui ont été enregistrés. De plus, bien qu'il soit possible d'entreprendre avec une exactitude croissante la modélisation numérique des courants, jets de rive et inondations probables, l'enregistrement d'un événement constitue la seule confirmation fiable de l'ampleur réelle des tsunamis. C'est pourquoi les analyses des nappes de sable, des anneaux de croissance des arbres, de la datation par le carbone 14 et autres sont essentielles pour identifier, vérifier et dater les impacts physiques antérieurs. Toutefois, l'intégration d'anecdotes et de données empiriques est également critique pour comprendre qualitativement les incidences humaines, environnementales et autres des tsunamis.

Par exemple, les traditions orales des peuples des Premières nations de la côte du Nord-Ouest ont enregistré les effets dévastateurs des tsunamis et des séismes dans les villages côtiers. Bon nombre de ces effets ont été confirmés par des preuves archéologiques de villages abandonnés à la suite d'importants séismes et tsunamis (Hutchinson et McMillan, 1997). Des perceptions et expériences sismiques sont également incorporées aux performances, sculptures et croyances rituelles autochtones (McMillan et Hutchinson, 2002).

Bien qu'aucun événement catastrophique ne se soit produit récemment le long de la côte de la Colombie-Britannique, des enregistrements historiques et des données géologiques, combinés aux enregistrements du séisme tsunamigène de l'Alaska en 1964 et de ceux survenus ailleurs à la périphérie de la région du Pacifique, offrent un bon aperçu des types de dommages que peuvent causer les tsunamis.

3.4.1 Dommages causés par les tsunamis

Les dommages et autres effets résultant des tsunamis varient généralement en fonction des caractéristiques des tsunamis qui interagissent avec les variables du littoral. Toutefois, étant donné que ces interactions varient considérablement d'une communauté à l'autre, de même qu'à l'intérieur d'une communauté, la détermination des risques associés à un tsunami constitue un processus extrêmement complexe (Preuss, 1988). Il est toutefois possible de classifier les

incidences des tsunamis : incidences à court terme (ou pertes directes) ou incidences qui peuvent avoir des conséquences à long terme.

3.4.2 Incidences à court terme des tsunamis

Il arrive que les vagues de tsunamis causent des dommages matériels importants aux ouvrages de défense des côtes par pression, par affouillement et par impact. Dans leur forme la plus simple, les dommages sont causés par la pression hydrostatique de l'eau qui s'élève, entraînant l'effondrement de bâtiments et la flottaison de ponts et de bâtiments (Barlow, 1993). D'autres dommages résultent des forces hydrauliques, comme le déferlement de lames vers l'intérieur des terres et les forces de traînée provoquées à la fois par le jet de rive et le ressac (Preuss, 1988 dans Dengler, 1998). Des courants très rapides associés aux jets de rive et au ressac accroissent considérablement les dommages en causant de l'affouillement (érosion du fond marin et du lit des cours d'eau). L'affouillement peut entraîner la perte d'éléments de soutien des ouvrages, tels que des pieux, de même que des dommages aux digues, aux voies ferrées et aux routes, ainsi que l'enlèvement de sol et de remblais. L'affouillement résultant de courants rapides peut également détruire des parcs à huîtres et à palourdes, ainsi que des établissements salmonicoles (Barlow, 1993).

L'impact des débris, tels que débris de quais, billes de bois, bateaux, autos et maisons entraînés par les flots, peut également contribuer aux dommages et aux pertes de vie. L'origine des courants qui causent tant de dévastation s'explique par le changement rapide du niveau d'eau, atteignant jusqu'à 30 à 60 cm/minute. Les effets sur les côtes et les dommages résultant des inondations sont directement liés à la hauteur du jet de rive, alors que les dommages aux ouvrages et aux objets, dus à l'impact et à la vitesse de traînée, sont directement liés à la cambrure des crêtes des vagues, ainsi qu'à la vitesse de leur soulèvement et de leur retombée (Barlow, 1993).

Dans des zones portuaires et des ports de plaisance, des bateaux peuvent être gravement endommagés si on ne dispose pas de suffisamment de temps pour les évacuer vers les eaux profondes, là où la hauteur des vagues de tsunamis est faible. Les méthodes habituelles d'amarrage et d'ancrage sont insuffisantes lorsqu'il y a de grands courants. Comme le démontre le tsunami de 1868 à Arica, les navires peuvent être endommagés par le pilonnage des vagues, chavirés, coulés ou même emportés pour échouer à de grandes distances vers l'intérieur des terres. Après la crue des eaux, le retrait des vagues de tsunamis peut également provoquer l'abaissement de l'eau à des niveaux extrêmement faibles, laissant les navires échoués ou versés sur le côté, de telle sorte qu'ils seront inévitablement submergés par des vagues subséquentes (Barlow, 1993).

3.4.3 Incidences indirectes ou à long terme

Les dommages causés aux infrastructures par les tsunamis risquent souvent de déclencher des effets secondaires, tels que des incendies, des déversements de produits chimiques, des émissions de polluants dans l'atmosphère et des explosions, ainsi que de la pollution par les eaux usées. Les incidences connexes sur les humains peuvent comprendre des évacuations de longue durée, la perte d'infrastructures essentielles, des opérations importantes de nettoyage, de réparation et de reconstruction, du chômage et la perturbation des affaires, de même que la perturbation sociale et des traumatismes.

3.5 La Colombie-Britannique et le séisme de 1964 en Alaska

Bien que le séisme du 27 mars 1964 (magnitude de 9,2) en Alaska ait été ressenti très loin, au Canada tous les dommages ont été causés par le tsunami qu'il a déclenché. À 23 h ce soir-là, les résidents de la C.-B. ont appris qu'un tsunami descendait la côte. À mesure qu'elles se déplaçaient le long de la côte, les vagues du tsunami s'engouffraient dans les fjords des îles et des régions continentales. Certaines des premières vagues, aussi les plus grandes, ont coïncidé avec la marée haute naturelle, amenant les crêtes à se soulever de plusieurs mètres au-dessus de la laisse des hautes eaux et à submerger un grand nombre de basses terres (White, 1966).

Les résidents de la vallée d'Alberni ne s'attendaient pas à ressentir les effets du tsunami puisque le bras de mer Alberni s'étend très loin à l'intérieur des terres. En fait, le bras de mer Alberni forme un fjord de 40 km de longueur sur la côte ouest de l'île de Vancouver, à la tête duquel les villes jumelles d'Alberni et de Port Alberni sont situées. Historiquement, Alberni était le lieu de résidence de la population, alors que les usines, les quais et les appontements se trouvaient à Port Alberni.

Même s'ils se trouvaient à l'abri de la houle et des vagues d'origine éolienne, les résidents ont découvert qu'ils n'étaient pas prémunis contre l'amplitude des vagues de l'océan Pacifique. Le 28 mars, environ 15 minutes après minuit, le premier tsunami a frappé les communautés d'Alberni. Cette vague a servi d'avertissement et a permis d'alerter en temps utile les services d'urgence et d'éviter des pertes de vie parmi les habitants des basses terres. Toutefois, la deuxième vague a été beaucoup plus dévastatrice. Arrivant environ 90 minutes plus tard et se déplaçant à une vitesse approximative de 380 km/h sur une marée créée par la première vague, elle a tout détruit sur son passage, projetant d'énormes billes et d'autres débris, y compris des bâtiments, des bateaux et des automobiles. La vague s'est ensuite retirée et a été suivie d'une décrue de vagues plus petites au cours des 18 heures suivantes (British Columbia, 1964 et White, 1966). Heureusement, ces vagues se propageaient sur une marée descendante. La seconde vague a atteint le niveau total le plus élevé, estimé à 4,4 m avec une amplitude de 3,6 m pour le tsunami. En dépit du fait que la troisième vague était plus haute (4,1 m), elle s'est produite à marée basse, donnant une hauteur de vague totale d'environ 4,1 m (Holden, 1995).

Les effets du tsunami se sont surtout fait sentir dans les basses terres bordant le fond du bras de mer Alberni et le long de la rive nord de la rivière Somas. Les dommages les plus importants ont été relevés dans la zone résidentielle riveraine de la ville d'Alberni, où l'hôtel de ville a été en partie inondé et les bâtiments qui n'étaient pas boulonnés aux fondations ont été emportés sur 300 m vers l'intérieur des terres. Les bâtiments en blocs de béton ou à charpente de bois fixés à leurs fondations n'ont été déplacés que sur une courte distance. De nombreux résidents ont été surpris chez eux et, alors que la progression rapide de l'eau neutralisait les réseaux électriques des maisons et l'éclairage des rues, les personnes qui le pouvaient ont pataugé dans l'eau jusqu'à la poitrine, dans le noir, pour atteindre des endroits plus élevés. D'autres, notamment les passagers de véhicules, ont reçu des secours par bateau (British Columbia, 1964).

Figure 6 Les effets du tsunami à Port Alberni, le 28 mars 1964
(Source : British Columbia, 2003a)

Des estacades flottantes et des bateaux, qui se trouvaient dans le bras de mer, ont été emportés très haut sur la rive, causant des dommages et créant des obstacles pour les opérations de sauvetage. En outre, les billes représentaient un danger secondaire. Sans être endommagé, le bassin de stabilisation des eaux usées desservant les villes était rempli de billes. En outre, les murs de remblai du bassin ont été affaiblis à mesure que des matériaux étaient emportés. Les billes ont été enlevées et les murs reconstruits immédiatement, prévenant des fuites d'eaux usées. Le risque qu'un incendie soit causé par des fuites de réservoirs de gaz propane représentait un autre grave danger secondaire. Le risque a été atténué par l'interdiction de fumer. Heureusement, il ne s'est produit aucun incendie ni explosion (British Columbia, 1964).

De lourds dépôts de limon sur tous les objets submergés ont aggravé les dommages et augmenté le nombre d'heures-personnes requises pour le nettoyage. Pratiquement toutes les activités industrielles du port ont été interrompues, le temps d'exécuter d'importantes opérations de nettoyage et de réparation. Les structures des quais ont également été endommagées, en partie parce que les tabliers des quais avaient été soulevés par les vagues et s'étaient superposés les uns sur les autres pendant les décrues. (White, 1966). Les articles en stock, le matériel et l'ameublement de motels, de concessions d'automobiles et d'autres petites entreprises ont été lourdement endommagés. De plus, les entreprises ont subi d'autres pertes en raison des limites d'accès dans les zones touchées, en attendant l'arrivée des équipes d'évaluation des dommages et de nettoyage (British Columbia, 1964). D'après les données de 1964, on a estimé la totalité des dommages à environ 10 millions de dollars (Barlow, 1993).

De nombreux problèmes se sont manifestés du point de vue des communications. D'abord les dégâts se sont produits presque sans avertissement. À l'époque, il n'y avait aucun système public d'alerte pour des situations de catastrophe, ni au niveau régional ni au niveau provincial. Le seul système en place était le Système national d'alerte en cas d'attaque, bien que certains représentants locaux se soient montrés préoccupés du fait qu'on n'insistait pas suffisamment sur le rôle de protection civile en cas de catastrophe naturelle ou anthropique. En effet, beaucoup de gens croyaient à tort que le rôle et les responsabilités établis dans le cadre de ce système se limitaient à des cas d'attaque nucléaire (British Columbia, 1964). Deuxièmement, même si un système local d'alerte était disponible, il n'existait aucun système pour transmettre les indispensables messages d'alerte aux autorités locales. Comme aucun tsunami grave ne s'était

produit sur la côte ouest au cours de l'histoire des observations marégraphiques, le Canada avait choisi d'interrompre sa participation au Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique en 1963. Par conséquent, il n'y a eu aucune alerte officielle de l'arrivée de la première vague (White, 1996; Barlow, 1993).

La transmission de messages à l'extérieur de la région était également problématique. La ville de Port Alberni avait choisi de retirer sa participation au programme de protection civile en 1963, tandis que la ville d'Alberni n'avait maintenu qu'une organisation à petite échelle. Ce manque d'organisation pour la protection civile a retardé la transmission de l'alerte à l'administration provinciale de la protection civile, au sujet de la catastrophe. Les rapports initiaux ont été plutôt diffusés par les bulletins de nouvelles (British Columbia, 1964). En outre, les communications de la région d'Alberni ont été retardées par le retrait des ondes de la radio locale. Même si les services téléphoniques n'ont pas été touchés dans les parties intactes de la communauté, ainsi que vers Victoria et d'autres parties de la province, la congestion du réseau local a retardé les appels (autres que les appels d'urgence) pendant environ deux heures le premier jour (British Columbia, 1964).

Alors qu'une grande partie de l'attention se concentrait sur Port Alberni, un grand nombre de régions plus isolées ont également été touchées. Un résumé des incidences les plus importantes sont relevées dans le tableau 2.

Tableau 2 Régions touchées par le tsunami de 1964
(Source : White, 1966; British Columbia, 1964; Barlow, 1993)

Endroit	**Incidences**
Hot Springs Cove	20 maisons détruites, résidents évacués vers la communauté voisine d'Ahousat, 40 personnes évacuées et une femme blessée pendant le sauvetage, dommages estimés à 10 000 $ (en dollars de 1964)
Gold River	Inondation des dortoirs de la Elk River Company
Zeballos	Rue principale inondée, bâtiments (y compris 30 maisons) déplacés, lourds dommages aux maisons et magasins causés par les inondations, dommages totalisant approximativement 150 000 $ (en dollars de 1964)
Fair Harbour	Dommages aux ponts traversant des vasières
Bras de mer Amai	La moitié des maisons au camp Jorgenson Brothers ont été déplacées, certaines emportées vers l'amont de la rivière; le service radiotéléphonique a été détruit; 37 personnes ont passé les deux premières nuits à la belle étoile.
Winter Harbour	Les pieux des estacades de la W.D. Moore Logging Company ont été complètement détruits par la première vague. Un navire de 9 m a été emporté d'un bras de mer à un autre et échoué sur la plage.
Port Alice	Estacades disloquées, petits quais emportés et quelques bateaux détruits
Baie San Josef	Grands arbres de la rive nord du cours d'eau emportés, parcs à palourdes dénudés et ruisseau obstrué par des billes à la limite des arbres
Port McNeil	Bris des pieux et des poteaux d'amarrage de l'aire d'estacades de la Pioneer Timber Company

3.5.1 Leçons apprises

Des études de suivi sur la catastrophe ont révélé un certain nombre de lacunes dans les systèmes d'alerte et les capacités d'interventions organisées de la province et des communautés locales. Peu après l'incident, la participation à un système d'alerte sur la côte ouest a été rétablie. (On discutera plus loin, dans le présent rapport, des changements et des améliorations qui ont suivi.) En outre, il apparaissait nécessaire de préparer des plans locaux qui mettraient en évidence les responsabilités, les compétences, les liens de communication et les moyens de coordination des services locaux en cas de catastrophe. De plus, on a proposé un moyen d'alerter la population en cas de catastrophe qui ne serait pas confondu avec le Système national d'alerte en cas d'attaque. On a suggéré notamment des sifflets d'usines, des systèmes d'alarme de services de pompiers volontaires, de grosses cloches et des haut-parleurs (British Columbia, 1964).

4.0 Le Système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.

Une étude de l'actuel système d'alerte aux tsunamis de la Colombie-Britannique (TWS C.-B.) et des pratiques connexes de réduction des risques demande l'adoption d'un modèle permettant de représenter les diverses fonctions et les liens organisationnels concernés. Mileti et Peek (Mileti et Peek, 2000) offrent un modèle fonctionnel reconnu pour la conception d'un système d'alerte permettant la catégorisation des éléments principaux du TWS C.-B. :

- Sous-système de détection
- Sous-système de gestion des urgences
- Sous-système d'intervention

4.1 Le sous-système de détection : alerte aux tsunamis pour la région est du Pacifique

Le sous-système de détection a pour fonction d'identifier la présence d'un risque ou l'existence de situations dangereuses. En matière d'alerte aux tsunamis, cela signifie la surveillance et la détection de certains événements sismiques, l'anticipation et la détection de la formation de tsunamis, le dépistage et la surveillance de toute formation de vagues et la prévision des heures d'arrivée et des hauteurs des vagues le long de la côte.

Depuis 1965, le sous-système de détection à l'appui du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. était coordonné à l'échelle internationale grâce au Groupe international de coordination du Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (GIC/ITSU) sous les auspices de la Commission océanographique intergouvernementale. Le Canada est membre de ce groupe, de même que 28 autres pays riverains du Pacifique. La responsabilité de l'atténuation des effets des tsunamis dans la région du Pacifique fait partie du mandat du Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT), qui surveille et évalue systématiquement la performance et l'efficacité du Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique. Le CIIT diffuse des recommandations sous forme de rapports présentés à des réunions de l'ITSU, qui offre par la suite des lignes directrices supplémentaires aux autorités nationales dans des domaines tels que la collecte de données, l'analyse, l'évaluation des incidences et la diffusion d'avertissements de façon efficace.

Le *Pacific Tsunami Warning Center* (PTWC) (centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique) a la responsabilité du fonctionnement général du système et travaille étroitement avec les pays membres, de même qu'avec les centres régionaux comme le *West Coast/Alaska Tsunami Warning Center* (WC/ATWC) (centre d'alerte aux tsunamis pour la côte ouest et l'Alaska), responsable de l'émission de bulletins pour la Colombie-Britannique. Le WC/ATWC, en collaboration étroite avec le PTWC, assure une surveillance continue d'éventuels tsunamis et diffuse des bulletins de surveillance et d'alerte ainsi que des avis sur les tsunamis basés sur les données sismiques et sur les marées recueillies par l'infrastructure des membres de l'ITSU dans l'ensemble du bassin du Pacifique. On peut trouver des détails sur le fonctionnement du système à ce niveau dans des documents du GIC-ITSU. En outre, le PTWC et le WC/ATWC participent au programme *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami* (DART) de la NOAA.

La diffusion des bulletins est également une entreprise de coopération qui demande des installations internationales de communication afin de distribuer des messages à plus de 100 points dans l'ensemble du bassin du Pacifique. Ces messages sont envoyés suivant une base

formelle à un seul point désigné par région déterminée, mais d'autres utilisateurs locaux, régionaux et internationaux, ainsi que les médias, peuvent obtenir l'autorisation d'« écouter » ces transmissions. Le PTWC publie régulièrement un plan de communication qui offre de l'information générale au sujet de ses activités et de ses exigences (Commission océanographique intergouvernementale, 2001).

4.2 Le sous-système de gestion des urgences : alerte aux tsunamis pour la côte de la C.-B.

Le sous-système de gestion des urgences a pour fonction de déterminer l'étendue et la magnitude de la menace de tsunami pour la C.-B. Cela comprend l'évaluation du danger pour la sécurité publique, ainsi que les possibilités de pertes matérielles, de dommages causés à l'environnement et de pertes économiques. Dans l'éventualité de l'émission d'avis sur les tsunamis ou de bulletins de surveillance ou d'alerte aux tsunamis par le WC/ATWC pour les populations côtières de la C.-B., la responsabilité de coordonner les interventions en C.-B incombe au gouvernement provincial. Cependant, il importe de noter que ce sous-système est le plus efficace dans les cas de tsunamis générés à distance ou télétsunamis, alors qu'on dispose de suffisamment de temps pour déterminer les risques possibles et prendre des mesures d'urgence le long de la côte. Les tsunamis locaux peuvent devancer l'activation de ce sous-système, comme l'indique clairement le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. :

> On ne peut pas faire beaucoup pour avertir dans les cas de tsunamis locaux puisque leur temps de parcours est très court. Les personnes qui vivent dans les régions côtières doivent prendre pour acquis que la formation d'un tsunami est possible si un important séisme s'est produit au large des côtes ou dans les eaux intérieures et réagir en conséquence (A-4).

Pour la province, le *Provincial Emergency Program* de la Colombie-Britannique (PEP C.-B.) reçoit les bulletins du WC/ATWC à son centre de coordination de mesures d'urgence (CCMU) et communique avec le surintendant régional du Service hydrographique du Canada (SHC) de Pêches et océans Canada, afin que le personnel du SHC évalue les risques d'un tsunami local en s'appuyant sur les conditions océaniques et les marées au moment de la diffusion des bulletins. Dans ces circonstances, la communication entre le PEP C.-B. et le SHC est cruciale afin de pouvoir émettre un bulletin exact en temps opportun pour les populations locales. Le personnel du centre de coordination des urgences du PEP C.-B. est présent en permanence, par contre, il est possible que les membres du personnel du SHC ne soient pas en service ou soient à l'extérieur du bureau lors de la diffusion d'un bulletin, de sorte qu'ils doivent porter un téléavertisseur ou un téléphone cellulaire. Il est également possible de faire un renvoi automatique des appels du bureau à la maison ou aux téléphones cellulaires, lorsque les membres du personnel ne sont pas en service.

L'organisation actuelle des communications entre le PEP C.-B./CCMU et le SHC repose sur la « ligne tsunami », le téléphone à la maison et le téléavertisseur. Ces communications sont appuyées par les communications radio de la Garde côtière (Région du Pacifique) – Service de communications et de trafic maritimes. Le rôle du SHC est double à l'égard du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. puisqu'il fournit une évaluation des risques à l'échelle locale en s'appuyant sur les bulletins reçus du WC/ATWC et qu'il offre une fonction de détection locale grâce à un réseau de données recueillies à trois stations de surveillance des tsunamis le long de la côte de la Colombie-Britannique.

Lorsqu'un bulletin lui parvient par l'intermédiaire du PEP C.-B., le personnel du SHC utilise ensuite les cartes des temps de parcours et d'autres sources d'information sur le littoral pour déterminer les risques de tsunamis locaux. Ces procédures comprennent une surveillance active assurée par trois stations de surveillance des tsunamis le long de la côte de la C.-B. (situées à Tofino, dans la baie Winter et à l'île Langara). La transmission des données entre ces stations et le SHC est conçue pour des applications du système *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) facilitées par modem téléphonique, avec des communications téléphoniques par satellite (réseau de données à commutation par paquets MSAT) comme système auxiliaire.[1] De futures améliorations au système SCADA (d'après le rapport du Canada à ITSU-XVIII en 2001) « offriront la possibilité d'accéder à l'ordinateur de l'ISM pour les tsunamis à l'aide d'un ordinateur portatif ou de poche utilisant un téléphone cellulaire. Ainsi, on donnera un accès immédiat aux données et aux paramètres des stations, incluant la capacité de changer ces paramètres. » Une amélioration connexe décrite dans ce rapport consisterait à « placer à titre de référence les données entrantes dans un site Web à la disposition d'utilisateurs choisis » (Canada, 2001, 2003).

Le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la Colombie-Britannique porte principalement sur le sous-système de gestion des urgences et sur l'établissement d'un réseau d'alerte entre le PEP C.-B. et les organisations et organismes avec lesquels il vise à communiquer pour la diffusion d'avis sur les tsunamis en C.-B. Ces organisations comprennent des organismes du gouvernement fédéral : SPPCC (C.-B./Yukon), Défense nationale (FMAR(P)), Garde côtière canadienne, NAVCAN et Division E de la GRC. Le PEP C.-B. vise également à communiquer avec les organismes du gouvernement provincial, même si la liste de contacts particuliers n'est pas incluse dans le Plan. De plus, le Plan exige la diffusion de bulletins aux détachements de la GRC postés le long de la côte et aux coordonnateurs des mesures d'urgence des autorités locales, ainsi qu'aux médias radiotélévisés. On suppose, sans entrer dans les détails, dans le Plan que ces organisations informeront ensuite les populations locales et coordonneront les interventions pour la protection de l'ensemble de la communauté.

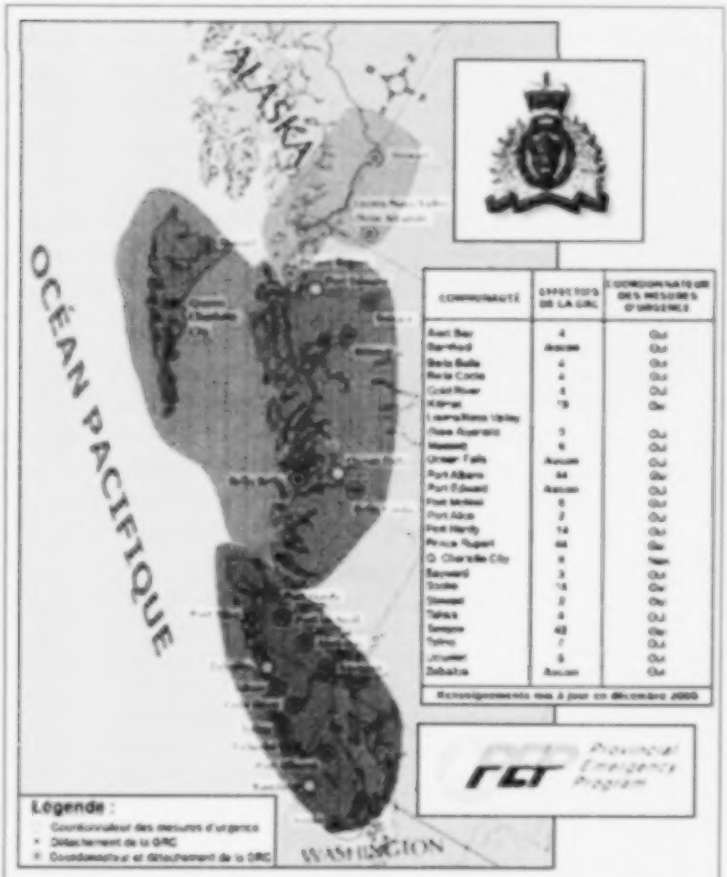
Le Plan détermine quatre régions le long de la côte de la C.-B. à titre de référence pour les avis sur les tsunamis. Il s'agit d'une version simplifiée de la méthodologie du « point d'interruption » utilisée par le WC/ATWS (British Columbia. *Provincial Emergency Program*, 2001). Ces régions présentent des limites logiques pour une évaluation comparative des exigences pour les communications et des capacités d'alerte le long de la côte de la C.-B. Elles comprennent :

- tout le littoral de la C.-B.;
- de Prince Rupert vers le nord jusqu'à Stewart à la frontière de l'Alaska;
- les îles de la Reine-Charlotte et la côte continentale depuis le détroit de la Reine-Charlotte vers le nord jusqu'à Prince Rupert;
- la côte ouest de l'île de Vancouver depuis le nord de Port Renfrew, ainsi que les zones littorales bordant le détroit de la Reine-Charlotte et le détroit de Johnstone.

---

[1] Dans le numéro de janvier-mars 1990 de la *Revue de la protection civile*, un article décrit l'installation de ce qui semble être ces stations de surveillance, dont l'origine remonte à un projet pilote réalisé en 1983 pour l'Institut des sciences de la mer. Les stations de surveillance ont été construites par Sierra-Misco Environment Ltd., et sont réputées utiliser une « radio VHF à diffusion météoritique » comme lien pour les communications avec une station de base située sur l'île Saturna (Jervis, 1990).

Figure 7 Zones d'alerte côtières
(adaptées d'après la carte de référence du PEP C.-B.)



Communautés côtières menacées et capacités du système local d'alerte
(tiré du Tsunami Warning and Alerting Plan de la Colombie-Britannique, 2001)

Selon le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la Colombie-Britannique, des avis d'alerte sont émis sous forme « d'avis sur les tsunamis » par le PEP C.-B. à l'intention des autorités locales et peuvent prendre la forme de l'un des cinq types d'avis suivants, qui établissent une hiérarchie pour les priorités de communication et qui ont des conséquences différentes sur les interventions subséquentes en matière d'avertissements au public et de mesures de protection :

- Alerte –vague de tsunami vérifiée; mise en œuvre des plans d'urgence locaux.
- Veille – vague de tsunami non vérifiée mais possible; autorités locales en attente.
- Information – aucune menace de tsunami immédiate; rapport sur d'autres régions pour éclaircissements.

- Annulation – fin de la menace, annulation de tous les bulletins antérieurs; fin de la période de diffusion d'avis.
- Fin d'alerte – fin de la menace; la fin de l'alerte peut être annoncée par les autorités locales et par d'autres organismes conformément aux avis du PEP C.-B.

4.3 Le sous-système public d'intervention : alerte aux tsunamis auprès des communautés côtières

Les avis sur les tsunamis pour la C.-B. sont diffusés par le PEP C.-B. à un ensemble de points de contact dans les communautes locales le long de la côte de la C.-B. Ces bulletins sont destinés à tous les points de contact, mais peuvent avoir une priorité plus élevée pour un ou plusieurs secteurs d'alerte (notés précédemment). Le rôle du sous-système public d'intervention consiste à informer les populations locales d'une menace possible ou imminente dans une région, ainsi que de mettre en œuvre et de coordonner des mesures de protection, comme une évacuation. Il importe de noter, cependant, que le PEP C.-B. n'a pas la responsabilité de l'état de préparation des communautés. La législation provinciale stipule que les communautés doivent assurer la planification et la préparation des interventions en cas d'urgence et doivent maintenir une organisation de gestion des urgences.

Les activités d'alerte à l'échelle locale sont mises en œuvre par une gamme d'organisations et d'organismes, selon le plan établi dans chacune des communautés. Lorsqu'ils sont présents, un détachement de la GRC ou un coordonnateur des mesures d'urgence seront responsables de la diffusion des alertes auprès du public. Lorsqu'il y a un gros employeur dans la région (p. ex. l'usine de papier de Norske Canada), les alertes peuvent être diffusées sur les lieux de travail.

Les zones locales qui ne relèvent pas de la compétence provinciale devraient recevoir les avis d'alerte par les voies appropriées. Le milieu maritime le long de la côte de la C.-B. est desservi par les Services de communications et de trafic maritimes (SCTM) de la Garde côtière, qui ont la responsabilité d'offrir un service de diffusion d'alertes et de communiqués subséquents aux navires en mer, au port ou à l'ancre. Les populations côtières à terre peuvent également capter les communications maritimes et se mettre à l'écoute. Les messages sur les tsunamis sont transmis par les SCTM de Prince Rupert, désignés comme le principal lien de la Garde côtière entre le WC-ATWC, les sites d'exploitation de la Garde côtière et le PEP C.-B. La Division des SCTM de Comox sert de site de remplacement. Les communications de la Garde côtière peuvent également appuyer le PEP à la demande des coordonnateurs locaux du PEP dans le cadre d'une contribution individuelle des stations au plan de leur communauté (ministère des Pêches et des Océans–Garde côtière (Région du Pacifique), 2004).

Apparemment, aucune norme n'a été publiée sur la diffusion d'avis destinés au public par les autorités locales.

Le sous-système public d'intervention peut être élargi pour inclure des mesures de planification et d'atténuation qui seraient prises longtemps avant l'occurrence d'un tsunami. En fait, on peut identifier plusieurs niveaux pour le système d'alerte local :

- Les résidents et les visiteurs doivent d'abord savoir s'ils se trouvent ou s'apprêtent à entrer dans une région vulnérable aux tsunamis.
- Les personnes et d'autres groupes doivent ensuite savoir de quelle manière ils devraient s'attendre à recevoir des avertissements en cas de tsunami (il peut y avoir plus d'une méthode selon le lieu où ils se trouvent), obtenir de l'information supplémentaire et interpréter les messages qui les accompagnent.
- Les personnes et d'autres groupes doivent connaître les mesures à prendre dans l'éventualité où ils reçoivent un message d'alerte.
- Les points de diffusion locaux doivent être aptes à recevoir, à éventuellement mettre en forme et ensuite à émettre des alertes aux tsunamis (avis) au bon moment et de manière cohérente et ce, par les voies appropriées (qui peuvent être multiples).
- Les autorités locales doivent être préparées à répondre aux questions et aux demandes d'information supplémentaire venant de personnes du public et des populations locales.

L'interprétation des trois premiers points pourrait se situer dans le cadre d'une stratégie régionale de communication des risques plutôt que dans le cadre du système d'alerte comme tel. Un rapport diffusé récemment sur les avertissements destinés au public en cas de risques d'avalanche dans l'arrière-pays pourrait donner un aperçu précieux du travail à faire dans ces domaines (O'Gorman, Hein et Leiss, 2003).

Les deux derniers points sont plus généralement associés aux avertissements et alertes en cas de tsunami tels que conçus dans le Plan de la C.-B. Toutefois, le TWS C.-B. n'inclut pas ce « dernier maillon » dans le système d'alerte. Les limites sont clairement indiquées dans le plan d'avertissement et d'alerte :

> [Ce Plan] ne porte pas sur les mesures détaillées qui doivent être prises par les personnes et les communautés ou à l'endroit de navires ou d'hydravions sur réception d'une information d'alerte aux tsunamis. Les questions concernant les systèmes d'alarme, les régions susceptibles d'être inondées, les voies d'évacuation et les zones de sécurité doivent être intégrées dans les plans locaux (p. 1-1).

Le Plan recommande, cependant, que le PEP C.-B. appuie la préparation des plans locaux et travaille en vue d'offrir du matériel didactique pour la distribution. Le PEP C.-B. a identifié ce rôle comme un « enjeu prioritaire d'intervention » dans le cadre de ses objectifs stratégiques, énumérant trois besoins à combler : améliorer l'état de préparation des communautés en cas de tsunami, maintenir un calendrier régulier d'exercices de validation et élaborer une stratégie de planification afin d'alerter le public en situation d'urgence en C.-B. (British Columbia. *Provincial Emergency Program*, 2002a). Il n'apparaît pas évident dans quelle mesure ces besoins ont été abordés jusqu'à maintenant, en dépit du fait que le PEP C.-B. a mené en 2002 un projet d'atténuation à petite échelle auprès d'un groupe choisi de communautés locales, à la suite d'un important exercice pour mettre à l'épreuve le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. (« Seaswell 5 ») (British Columbia. *Provincial Emergency Program*, 2002b).

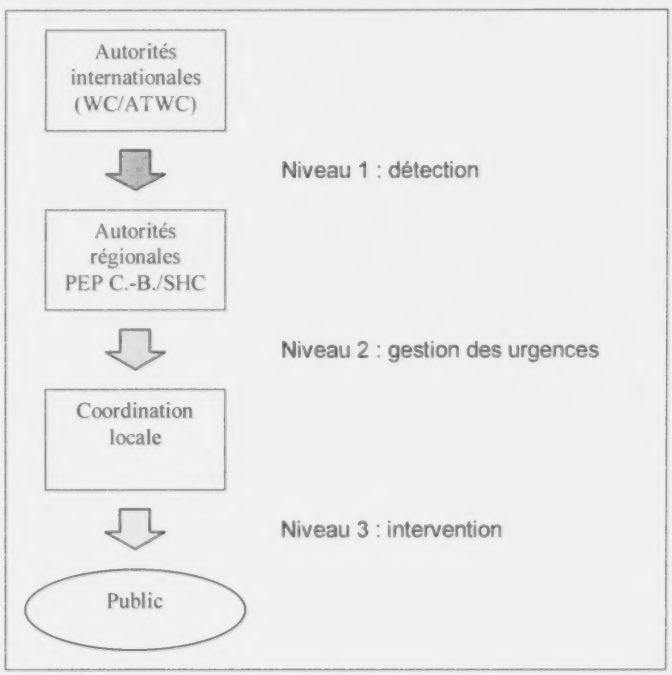
En vertu de la *Loi sur la protection civile*, on attribue à Industrie Canada un rôle prépondérant qui consiste à « offrir aux provinces et aux municipalités des conseils et de l'aide en matière de

planification relativement aux télécommunications en cas d'urgence et aux systèmes d'alerte connexes », bien qu'aucun programme officiel ne semble être en place pour faciliter cette fonction. Industrie Canada parraine actuellement une initiative publique d'alerte à l'échelle nationale, qui pourrait éventuellement contribuer de façon importante à ce rôle prépondérant par l'élaboration de lignes directrices, par la mise en place d'une infrastructure et par l'obtention d'un appui financier pour leur mise en œuvre (Industrie Canada, 2003).

4.4 Le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. : un réseau de diffusion à trois niveaux

Du point de vue des communications, le TWS C.-B. consiste en trois sous-systèmes fonctionnels reliés par un ensemble d'interfaces. Par conséquent, il est souhaitable d'adopter un modèle complémentaire reconnaissant ces liens critiques qui constituent un réseau de détection et de diffusion à trois niveaux (voir la figure 8).

Figure 8 Modèle du réseau de diffusion (source : auteurs)



Chacun des niveaux du modèle de réseau de diffusion peut être subdivisé en plusieurs points d'intérêt à étudier, desquels on a dérivé un ensemble d'observations préliminaires aux fins de la présente étude :

- Mettre l'accent sur l'infrastructure;
- Mettre l'accent sur les organisations et les procédures;
- Mettre l'accent sur l'élaboration de politiques, la réglementation et les ressources.

4.4.1 Observations préliminaires : niveau 1

Infrastructure	• Des voies multiples sont nécessaires pour la redondance des communications, mais les exigences en matière de données sont relativement modestes.
Organisations et procédures	• Petit réseau (peu de nœuds), haute fiabilité probable pour se conformer aux procédures. • Repose fortement sur la coopération internationale pour la détection; le Canada contribue des données sur les marées grâce à un réseau de stations le long de la côte de la C.-B. • Le Canada/C.-B. ne contribue pas à la détection des tsunamis. • Le Canada/ C.-B. peut évaluer les temps de parcours; mais ne peut PAS prévoir les hauteurs des vagues. • Les liaisons de communications sur les tsunamis des États/province sont faibles et non éprouvés.
Élaboration de politiques, réglementation et ressources	• Ententes internationales par le biais de la COI, rôle prépondérant du gouvernement fédéral à l'appui de la détection et de la liaison internationale.

4.4.2 Observations préliminaires : niveau 2

Infrastructure	• Repose sur le réseau téléphonique public ou le réseau PBX provincial pour les communications orales ou par télécopieur; pourrait convenir à un système automatisé de diffusion des avis; Internet est une solution possible. • Internet et le Web pourraient offrir une information de suivi pour compléter les bulletins. • Pourrait requérir des moyens pour traiter des volumes imprévus d'appels du public ou des autorités locales (p. ex. numéro sans frais, centre d'appels.
Organisations et procédures	• Réseau moyen, une certaine diversité parmi les intervenants (p.ex., fédéral, provincial, local). • Les listes de contacts doivent être mises à jour régulièrement; des points de contact multiples à l'échelle locale pourraient créer de la confusion. • Les chaînages d'appels sont exigeants en main d'œuvre et éventuellement en temps; une politique de confirmation de réception pourrait être nécessaire. • Processus en deux étapes (y compris la consultation du SHC) qui pourrait prendre beaucoup de temps. • Des procédures et de la formation pourraient s'avérer nécessaires pour le traitement d'appels de relance, notamment pour fournir de l'information supplémentaire (cartes des zones inondables, etc.) aux autorités locales.
Élaboration de politiques, réglementation et ressources	• Relèvent de la compétence du gouvernement provincial, mais s'appuient sur et doivent être en accord avec les ministères fédéraux dans certains domaines et avec les

	organismes internationaux. • alors que les organismes fédéraux et provinciaux peuvent prévoir les temps d'arrivée et estimer les marées le long de la côte, aucun organisme canadien n'est en mesure d'estimer la hauteur des vagues de tsunamis au moment de l'impact sur la côte de la C.-B. Il s'agit d'une information cruciale pour la gestion des urgences et impérative pour le déploiement des rares ressources dans les zones les plus touchées afin de minimiser les pertes de vie, ainsi que les pertes matérielles et économiques. • Ressources attribuées par le ministre de la Sécurité publique et le solliciteur général de la C.-B.; en concurrence à l'interne avec d'autres préoccupations (séisme, inondation, etc.) • Le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. constitue la principale référence • Le TWAP C.-B. ne traite pas des autorités ou des déclarations en situation d'urgence – enjeu critique pour l'évacuation des personnes. • Le TWAP C.-B. ne constitue pas un plan d'intervention – un tel plan est requis. • Des plans d'application et de reprise des activités sont également requis. • *Emergency Response Management System* (système de gestion des interventions d'urgence) de la C.-B. (ERMS C.-B.); plans, stratégies, guides, lois, règlements provinciaux; *Inter-Agency Emergency Preparedness Council* (IEPC) (conseil de protection civile interinstitutions) de la C.-B..

4.4.3 Observations préliminaires : niveau 3

Infrastructure	• L'infrastructure variera en fonction de la communauté; porte-à-porte; haut-parleur/sirène (un seul système en C.-B.); radiodiffusion; radio maritime; radio amateur; téléphone; système automatisé de diffusion des avis. • Des communications inadéquates et des lacunes dans la couverture sont des problèmes qui persistent dans de nombreuses régions. • De nouvelles technologies pourraient améliorer les capacités de communication à un coût raisonnable.
Organisations et procédures	• Réseau étendu et diversifié d'intervenants; la fiabilité de la procédure peut être faible; les communautés éloignées ou les petites communautés ne disposent peut-être pas de capacités tous les jours 24 heures sur 24 pour recevoir les avis diffusés par le PEP C.-B. • Manque de coordination possible entre les médias et les coordonnateurs des mesures d'urgence; cela exige une connaissance de la communauté et la confiance de la

	population. • Lacunes possibles avec les Premières nations, populations de passage, membres moins visibles de la communauté, ainsi qu'activités à distance (camps de bûcherons/aires de triage; pisciculture; stations de villégiature; fermes ostréicoles; etc.). • Possibilité de préparation et d'exercices préalables. • L'industrie privée et les infrastructures pour des activités récréatives pourraient nécessiter des arrangements spéciaux en matière de communications. • Le présent niveau est le plus touché par les activités en évolution le long de la côte.
Élaboration de politiques, réglementation et ressources	• Les mesures d'atténuation commencent par des politiques locales de planification et d'aménagement. • Les limites des ressources prédominent, mais le devoir de diligence demeure. • Le PCPC et le FNI sont des sources possibles de financement.

Nos observations préliminaires indiquent que bon nombre des défis du TWS C.-B. touchent principalement le réseau de diffusion du niveau 3. Cela s'explique par un certain nombre de facteurs connexes qui seront examinés plus loin dans la présente étude :

- La grande diversité des groupes d'intervenants peut conduire à une fiabilité incertaine pour la mise en œuvre réussie de procédures d'avertissement et d'alerte ainsi que de mesures de protection.
- Les coûts élevés des infrastructures et les limites des ressources posent un défi pour l'établissement de communications efficaces ou pour l'amélioration du système actuel.
- La composition changeante des communautés locales le long de la côte de la C.-B. donne lieu à un pourcentage plus élevé de populations de passage, de touristes et d'autres populations qui représentent des défis uniques en cas d'avertissement et d'alerte.
- Les autorités responsables et la capacité en matière de planification des mesures d'urgence varient considérablement dans les régions côtières.

5.0 Groupes d'intervenants le long de la côte de la C.-B.

La Colombie-Britannique présente une énorme zone littorale qui renferme des milieux très diversifiés et productifs, sans pareils au Canada et dans le monde à bien des égards, pour ce qui est des types d'activités possibles dans un environnement marin tempéré (Dobson, 2002). La région regorge de richesses et de diversité écologiques. Elle renferme une variété de conditions biophysiques et écologiques uniques. Elle abrite des centaines d'espèces de poissons de mer, d'importantes colonies à l'échelle internationale d'oiseaux marins, de hérons, d'oiseaux de rivage, d'aigles et de sauvagine migratrice. Elle est reconnue internationalement pour ses populations de mammifères marins et terrestres, notamment l'épaulard et le grizzli, ainsi que le wapiti, la chèvre de montagne et de nombreux autres (Dobson, 2002).

Par ailleurs, en dépit de sa riche diversité environnementale, la région est affligée de pressions économiques et environnementales systémiques, notamment un chômage élevé, une dépendance sur des industries de ressources primaires en déclin (p. ex. foresterie, pêche et exploitation minière), des demandes accrues en matière de protection de l'environnement, des conflits associés à une gamme croissante d'utilisations et un secteur des services publics en régression. La recherche de nouvelles solutions économiques porte sur l'aquaculture de poissons et de mollusques, le tourisme et l'exploitation pétrolière et gazière, chacun présentant ses propres défis (Dobson, 2002).

Comme on pourrait s'y attendre, en raison d'une gamme aussi vaste d'activités économiques et de considérations écologiques, la composition des groupes d'intervenants concernés par le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. est susceptible d'être assez étendue. Dans la présente section, on a classifié les groupes d'intervenants selon les trois niveaux du modèle de diffusion. Les groupes d'intervenants actuels sont ceux identifiés explicitement dans le plan d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. ou autrement indiqués par le personnel du PEP C.-B.

5.1 Groupes d'intervenants du niveau 1

- CIIT / ITSU
- *West Coast/Alaska Tsunami Warning Centre*
- *Pacific Tsunami Warning Centre*
- Service hydrographique du Canada
- Garde côtière (Région du Pacifique) – Division des services de communications et de trafic maritimes (SCTM)
- *Provincial Emergency Program* de la C.-B. (Centre de coordination de mesures d'urgence / centre provincial de coordination de mesures d'urgence (*Provincial Emergency Coordination Centre*) / personnel de l'administration centrale)

5.2 Groupes d'intervenants du niveau 2

- Division E et détachements de la GRC
- Garde côtière (Région du Pacifique) – SCTM
- Centre des opérations des Forces maritimes du Pacifique (FMAR(P)), Forces canadiennes,
- Groupe central de coordination de la C.-B.
- *Interagency Emergency Planning Council* (IEPC) de la C.-B.
- Coordonnateurs régionaux du PEP C.-B.
- Personnel bénévole du PEP C.-B. – SAR (recherche et sauvetage), sauvetage sur route, radio, SSU, PEP Air
- Ministères provinciaux de la C.-B., sociétés et organismes d'État – Traversiers
- Organisations provinciales voisines de gestion des urgences
- Sécurité publique et Protection civile Canada (SPPCC)
- Industrie Canada
- Affaires indiennes et du Nord Canada
- États de la Californie, de l'Orégon, de Washington et d'Alaska
- Navigation Canada (NAVCAN)
- Autorités portuaires
- Autorités locales/ coordonnateurs des mesures d'urgence
- Premiers intervenants (services d'incendie, de police, d'ambulance)
- Organismes d'information en radio et télévision

5.3 Groupes d'intervenants du niveau 3

Bien que le plan actuel d'avertissement et d'alerte en cas de tsunami de la C.-B. (p. 1-2) n'énonce pas les groupes d'intervenants spécifiques à l'échelle locale, il identifie cependant cinq types de points de contact qui appartiennent au réseau de diffusion du niveau 3 :

- Administration locale
- Industrie
- Activités récréatives
- Tourisme
- Personnes

Dans certains cas, ces secteurs ont peu de contacts réguliers avec les représentants du PEP C.-B. et peuvent ne pas évaluer à leur pleine mesure les risques des tsunamis pour leurs activités et leurs investissements. De plus, les liens et les capacités de communication varient grandement entre ces secteurs et à l'intérieur de ceux-ci. En outre, les changements sociaux et économiques qui surviendront le long de la côte de la C.-B. sont susceptibles de toucher la composition particulière de ces groupes au cours des prochaines années.

Une évaluation plus détaillée des groupes d'intervenants du niveau 3 devra être entreprise en raison de l'importance de ces groupes pour assurer le « dernier maillon » du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B., ainsi que du manque relatif d'information à leur sujet dans l'actuel

TWAP C.-B. La présente section donne un aperçu préliminaire de plusieurs groupes d'intervenants, en mettant l'accent sur l'industrie, les activités récréatives et le tourisme. L'administration locale représente un enjeu important, particulièrement en ce qui a trait aux questions de revendications territoriales et de contestations de compétences. Les personnes qui vivent et travaillent le long du littoral de la C.-B. sont souvent considérés comme un cas spécial en matière de communication des risques et ne feront pas l'objet du présent rapport. Cependant, il est recommandé que les lecteurs concernés consultent un rapport récent sur les risques d'avalanche dans l'arrière-pays pour obtenir plus d'information sur la façon d'intervenir auprès des personnes et d'aborder les risques qui les menacent (O'Gorman et coll., 2003).

5.4 Groupes d'intervenants de l'industrie

5.4.1 Foresterie

La foresterie demeure le principal contributeur à l'économie de l'ensemble de la Colombie-Britannique. Avec 600 scieries à travers la province, l'industrie forestière de la C.-B. compte 260 000 emplois directs et indirects dans plus de 150 communautés. Elle représente un quart de l'activité économique provinciale de la C.-B. et soutient des services publics essentiels. Toutefois, depuis le milieu des années 90, on assiste au déclin de la performance du secteur forestier. Ce déclin a entraîné des pertes d'emplois et des fermetures de scieries. Plus de 26 scieries ont fermé leurs portes et 13 000 emplois forestiers ont disparu. Les revenus du gouvernement ont diminué de plus de 600 millions de dollars. L'accroissement de la concurrence dans le monde entier et les différends commerciaux sont les facteurs qui ont le plus contribué à ce déclin (British Columbia, 2003c).

Actuellement, la plupart des activités forestières côtières sont situées sur l'île de Vancouver, les îles de la Reine-Charlotte et sur la côte septentrionale près de Prince Rupert et de Kitimat. Un certain nombre de zones le long de la côte de la C.-B. sont protégées de l'exploitation forestière, particulièrement dans les zones de la côte centrale et des îles de la Reine-Charlotte. Au cours des cinq dernières années, le gouvernement de la Colombie-Britannique a réalisé un certain nombre d'études sur les pratiques économiques et de gestion forestière durables le long de la côte, dans une perspective de restructuration de l'économie forestière. Par exemple, alors que des restrictions d'exploitation forestière commerciale d'un million d'hectares s'appliquent encore à la côte centrale (forêt ombrophile Great Bear) jusqu'au 30 juin 2004, les recommandations contenues dans des études entreprises récemment pourraient mener à une augmentation de l'exploitation forestière dans la région. Dans les îles de la Reine-Charlotte, le gouvernement collabore avec les Premières nations pour élaborer des recommandations sur l'utilisation du sol afin de gérer la récolte du bois dans la région. On offrira à des entreprises forestières locales plus petites et innovatrices la possibilité de s'établir en Colombie-Britannique – le but visé étant d'attribuer 45 % des coupes annuelles autorisées au marché libre et de doubler les coupes annuelles autorisées disponibles pour les Premières nations (British Columbia, 2003c).

5.4.2 Pêche commerciale

L'industrie de la pêche commerciale se classe au quatrième rang des industries de la Colombie-Britannique, derrière la foresterie, l'exploitation minière et l'agriculture. Toutefois, il s'agit de la principale industrie située géographiquement le long de la côte de la C.-B. La Colombie-Britannique exporte 90 pour cent de ses produits du poisson et de fruits de mer, ce secteur

générant la plus grande part des devises étrangères de la province (PricewaterhouseCoopers, 2001). L'industrie a produit plus de 1 milliard de dollars de revenus en 2002 (British Columbia, 2002b). Alors que les pêches du saumon et du hareng ont considérablement décliné au cours des années 90, les récoltes de poissons de fond et de fruits de mer ont augmenté de façon appréciable.

La transformation des fruits de mer en 2002 comptait 186 entreprises avec 213 installations et employait directement 5700 personnes (British Columbia, 2002a). Il s'agit d'un déclin important depuis les années 90, alors que l'industrie employait en moyenne 11 000 travailleurs. La majorité des usines de transformation sont situées sur les côtés est et ouest de l'île de Vancouver ainsi que sur la côte sud de la Colombie-Britannique. La transformation du poisson a augmenté de 35 % sur l'île de Vancouver pendant les années 90, alors qu'elle déclinait proportionnellement sur les basses terres continentales. Des diminutions radicales ont également eu lieu dans les îles de la Reine-Charlotte (77 %), dans les régions du centre et du nord de la côte ainsi que de la « Sunshine Coast » (90 %) (British Columbia, 2001).

En fait, à la fois les pêcheries et la transformation du poisson ont subi un déclin depuis un certain temps. En dépit de cette tendance, l'industrie des fruits de mer continue de prendre de l'expansion, mais dans des marchés différents de spécialités – salmoniculture, calmar, sardines, crabe des neiges, aiguillat commun, plie à grande bouche, holothurie et oursin rouge (British Columbia, 2002a).

5.5 Évolution du profil de la côte de la C.-B.

Préoccupés par la dépendance de l'emploi aux pratiques traditionnelles de foresterie et de pêche commerciale, les résidents de la côte reconnaissent maintenant que la survie à long terme de leurs communautés repose sur l'équilibre entre la viabilité de ces industries et la diversification de l'économie le long de la côte. Au cours de la dernière décennie, plusieurs nouvelles initiatives ont été entreprises par les autorités fédérales, provinciales et locales, les Premières nations, ainsi que par des organisations de conservation et du secteur privé afin d'améliorer et diriger la croissance de l'économie dans les régions côtières. On a assisté à l'émergence de nouveaux secteurs d'activité économique, dont les plus importants sont ceux de l'aquaculture, des activités récréatives et du tourisme. Alors qu'on ne s'attend pas à ce que ces activités économiques remplacent les emplois traditionnellement bien rémunérés de l'industrie des ressources, on considère cependant qu'ils sont beaucoup mieux rémunérés que des emplois au salaire minimum. Pour de nombreux résidents, ces activités offrent des possibilités supplémentaires, comme la chance de demeurer dans la communauté de leur choix, sans avoir à déménager pour trouver du travail ou maintenir une qualité de vie qui correspond à leurs valeurs.

5.5.1 Aquaculture

Même s'il s'agit d'une petite industrie en comparaison avec de nombreuses autres composantes du secteur des pêches de la côte ouest du Canada, l'aquaculture a connu une croissance spectaculaire au cours des deux dernières décennies. En 1984, le rendement annuel de l'industrie a été estimé à 2,3 millions de dollars, soit moins de un pour cent la taille de la pêche commerciale. Toutefois, en 2001, les activités de conchyliculture et d'élevage du poisson représentaient plus de 287 millions de dollars du PIB total de la province. Actuellement,

l'aquaculture compte pour près du cinquième des revenus totaux générés par le secteur de la pêche et de l'aquaculture, et se compare à l'industrie de transformation du poisson quant à la taille. L'expansion de l'industrie de l'aquaculture est due en grande partie à la maturité de l'industrie salmonicole. La conchyliculture a également fait des progrès appréciables, mais n'est plus la force dominante de l'industrie (British Columbia, 2001).

Quelque 3 000 personnes sont actuellement employées directement et indirectement dans l'industrie salmonicole de la C.-B. Plus de 92 % des emplois directs se trouvent dans les communautés côtières à l'extérieur des régions métropolitaines de Victoria et Vancouver. La côte de la Colombie-Britannique est un endroit très recherché pour l'aquaculture en raison de ses nombreux fjords, bras de mer et baies protégés, de ses zones libres de glace et de la température de l'eau appropriée pour la production piscicole. Les exploitations salmonicoles sont situées principalement sur les côtes nord-est et ouest de l'île de Vancouver et à proximité (Dobson, 2002).

5.5.2 Exploration pétrolière et gazière

L'intérêt pour la mise en valeur du pétrole et du gaz dans les eaux côtières de l'ouest du Canada remonte à plus de 40 ans, alors qu'on forait des puits d'exploration dans le bassin de Reine-Charlotte, ainsi qu'au large de la côte ouest de l'île de Vancouver. Un moratoire du gouvernement fédéral sur la poursuite de l'exploration est en vigueur depuis le début des années 70. Cependant, en raison du déclin des autres industries du secteur primaire sur la côte au cours des années 90, les gouvernements fédéral et provincial ont récemment décidé de réexaminer les possibilités de poursuivre l'exploration (Vodden et coll., 2002). En 2001, le gouvernement de la Colombie-Britannique a commencé l'examen du moratoire et, en 2002, a annoncé son objectif de faciliter la mise en valeur d'une industrie pétrolière et gazière en mer qui serait en activité d'ici 2010.

5.5.3 Tourisme et activités récréatives

Tandis que l'aquaculture et l'exploration pétrolière offrent la promesse de nouvelles possibilités d'emploi pour certaines communautés, nombre de personnes verront d'importantes possibilités reliées au tourisme et aux activités récréatives de plein air.

Au début du nouveau millénaire, le tourisme était solidement établi comme la première industrie dans de nombreux pays et comme le secteur économique à l'évolution la plus rapide en ce qui a trait aux revenus en devises étrangères et en création d'emplois. Le tourisme international représente maintenant le secteur d'exportation le plus important dans le monde et constitue un facteur important dans la balance des paiements de la plupart des nations, y compris le Canada. Selon l'Organisation mondiale du tourisme, les revenus du tourisme international en 2002, à l'échelle mondiale, totalisaient 474 milliards de dollars US (501 milliards d'euros), correspondant à 1,3 milliard de dollars US par jour ou quelque 675 $US par séjour touristique. La part du Canada dans le marché international est appréciable. En ce qui touche les séjours touristiques, le Canada se classe au septième rang par rapport à l'ensemble des destinations touristiques dans le monde avec quelque 20,1 millions de séjours touristiques, et se classait au second rang dans les Amériques pour ce qui est des revenus du tourisme international (9,7 milliards de dollars US) (Organisation mondiale du tourisme, 2003).

En dépit des effets des événements du 11 septembre 2001, l'Organisation mondiale du tourisme a indiqué que, selon ses prévisions, les arrivées internationales atteindraient plus de 1,56 milliard d'ici l'année 2020, soit plus du double du niveau de l'année 2002 établi à 703 millions. Cette croissance accélérée est alimentée par un certain nombre de changements déjà en cours dans l'industrie. On prévoit que les compagnies aériennes à rabais poursuivront leur croissance en Amérique du Nord. L'Internet joue un rôle clé grandissant non seulement comme moyen stratégique pour accéder à de l'information locale sur les destinations, mais aussi comme moyen efficace d'organiser des voyages et de faire des réservations. On assiste à la prolifération des voyages individuels et en petits groupes non organisés, tandis que les grands fournisseurs de voyages organisés font face à des conditions plus difficiles. Le « faites-le vous-même » devient de plus en plus courant, particulièrement pour les voyageurs plus âgés et plus expérimentés, fortement stimulés par les possibilités offertes par les compagnies aériennes à rabais et les autres économies offertes sur l'Internet pour des voyages spéciaux et des événements locaux (Organisation mondiale du tourisme, 2003).

Les changements qui se produisent dans l'industrie touristique reflètent également les nouvelles tendances des préférences et des goûts des consommateurs. Nombre des nouveaux touristes qui visitent la côte de la C.-B. sont plus expérimentés, plus éduqués, indépendants, sensibles à l'écologie et orientés vers la qualité, mais ils sont également plus difficiles à satisfaire et plus aventureux dans leurs activités. (Poon, non daté). Aussi, les comportements liés au goût du risque sont-ils susceptibles d'augmenter dans certains segments de l'industrie. Parmi les changements les plus importants dans le domaine touristique, on note un intérêt accru pour des vacances d'évasion, l'écotourisme, le tourisme culturel (aussi appelé ethnotourisme) et pour la combinaison de voyages d'affaires et d'agrément. Il y a également un déplacement du plaisir passif vers l'apprentissage actif et la qualité, de même que les expériences authentiques des visiteurs dans des activités de plein air sont devenues essentielles pour la réussite du tourisme rural. Préoccupés par les incidences des activités touristiques à grande échelle, nombre de gens recherchent des installations touristiques à faible incidence qui correspondent à leurs valeurs environnementales. De plus, ces changements se produisent pendant que la démographie se modifie en Europe et en Amérique du Nord, se traduisant par une importante croissance de la population de baby-boomers (50 ans et plus) plus riche, plus exigeante, plus critique et capable de voyager davantage que les générations précédentes.

La situation de la Colombie-Britannique lui permet de tirer avantage de ces changements. La zone côtière de la Colombie-Britannique, avec ses abondantes ressources naturelles vierges et une grande diversité d'animaux sauvages, ainsi que son image de région restée intacte, devient rapidement une destination préférée pour l'aventure et l'écotourisme et ce, à l'échelle nationale et internationale. Parmi d'autres caractéristiques fort prisées, la côte est riche en ressources culturelles associées aux Premières nations et aux populations non autochtones et peut tirer avantage d'un climat tempéré pour prolonger la saison touristique au-delà de ce qui est possible ailleurs dans le Canada rural (à l'exception des activités récréatives et touristiques en hiver). L'implantation de parcs fédéraux et provinciaux ainsi que de réserves écologiques a permis d'augmenter la sensibilisation aux richesses de la côte et a entraîné une croissance spectaculaire du nombre de visites par des adeptes d'activités récréatives, des touristes et des exploitants dans le domaine touristique aux diverses destinations le long de la côte. L'objectif était d'attirer les

visiteurs hors des sentiers battus vers des paysages plus spectaculaires et moins connus de la Colombie-Britannique.

Par conséquent, de nombreux produits touristiques et récréatifs sont mis en marché dans les régions du littoral. Selon une tendance qui se dessine, on assiste à la croissance du tourisme d'aventure sur terre et des activités nautiques « à propulsion humaine ». Les activités énoncées ci-dessous fournissent un petit échantillon de ce qui est offert.

Activités aquatiques et nautiques

- Kayak de mer – traditionnellement considéré comme une activité pour les jeunes, le kayak étend sa popularité auprès des familles avec enfants plus âgés, des groupes d'individus des deux sexes et des autres adultes.
- Plongée libre dans les cours d'eau et en mer
- Plongée sous-marine – très populaire dans les bras de mer et les passages.
- Navigation en mer – habituellement associée à d'autres activités marines comme la pêche, la plongée sous-marine ou l'observation des espèces sauvages. L'activité peut être pratiquée par tous les groupes d'âge. Elle est très populaire dans les bras de mer abrités tout le long de la côte.
- Observation de la faune – activité très populaire auprès des touristes européens qui souhaitent voir des paysages naturels. Dans de nombreux cas, afin d'éviter les routes forestières et les zones exploitées récemment, il faut se déplacer sur de grandes distances le long des régions côtières.
- Planche à voile et surf – très populaires sur la côte ouest de l'île de Vancouver.
- Pêche en mer – de loin l'activité la plus populaire pour les adeptes d'activités récréatives et les touristes. La ressource de poisson (saumon, flétan, morue-lingue et vivaneau) est de qualité supérieure et attire les visiteurs internationaux en grand nombre.

Activités sur terre

- Camping – offre le plein air en milieu naturel, la paix et la tranquillité, des possibilités de pratiquer des activités sportives et récréatives d'aventure en plein air, ainsi que les avantages d'une activité familiale. Le camping est pratiqué soit comme une activité pratiquée dans des sites de camping désignés ou, de plus en plus, dans le cadre d'une autre activité comme la randonnée pédestre ou le kayak de mer en milieu sauvage sur la côte.
- Spéléologie ou exploration de formations karstiques – d'une popularité grandissante. La Colombie-Britannique jouit d'une abondance de formations karstiques de grand intérêt, particulièrement sur l'île de Vancouver, sur la partie centrale de la côte continentale et dans les îles de la Reine-Charlotte. La grande concentration de reliefs karstiques sur l'île de Vancouver, combinée à une longue tradition d'exploration des cavernes et à l'association unique des karsts avec la forêt pluviale tempérée de la côte, a attiré énormément d'attention à l'échelle internationale sur ces écosystèmes côtiers forestiers karstiques. Alors qu'il est souvent possible d'atteindre certains sites par route, un grand nombre d'autres sites ne sont accessibles que par bateau, particulièrement ceux situés sur la côte de l'île de Vancouver.

- Grande randonnée pédestre/randonnée pédestre d'un jour – l'augmentation du tourisme d'aventure, la fréquentation excessive des sentiers côtiers établis et le désir des entreprises de tourisme d'aventure d'offrir de nouvelles destinations sont des facteurs qui ont contribué à l'expansion de l'activité dans des régions côtières plus éloignées. Par exemple, la Piste de la côte Ouest, un sentier difficile de 77 km en milieu sauvage le long de la côte ouest de l'île de Vancouver, est tellement en demande qu'un système de réservation et de quota est en vigueur.
- Observation des éléments culturels et patrimoniaux – Les peuples des Premières nations ont occupé et utilisé les zones côtières pendant des milliers d'années. Bien que des infrastructures culturelles très anciennes, comme des longues maisons et des totems traditionnels, aient disparu en raison de la détérioration du bois, les vestiges de structures remontant à des centaines d'années ont subsisté, tandis que de nouvelles structures ont été bâties sur les terres des Premières nations. Des excursions culturelles dans des communautés nouvelles et anciennes sont offertes dans de nombreuses régions côtières. D'autres éléments notables à observer comprennent : des pétroglyphes et des pictogrammes; des sites archéologiques; des arbres ayant subi des modifications à caractère culturel et des routes commerciales traditionnelles. Les lieux d'intérêt historique qui ne sont pas liés aux Premières nations comprennent des anciennes conserveries, des villages abandonnés de bûcherons et de pêcheurs, ainsi que des phares. L'observation d'éléments patrimoniaux et culturels est considérée comme une activité à faible incidence et sans consommation, de sorte qu'elle est souvent associée à l'écotourisme, particulièrement dans les régions éloignées.
- Battage de grève – activité secondaire populaire sur la côte.
- Histoire naturelle/photographie – activités habituellement pratiquées parallèlement à d'autres activités comme la navigation en mer et le kayak de mer.
- Escalade – hautement technique et marché en croissance ciblé sur les adeptes des aventures extrêmes. La côte accidentée de la Colombie-Britannique offre des défis spectaculaires pour l'escalade.
- Observation des tempêtes – une activité hivernale populaire à certains endroits de la côte ouest de l'île de Vancouver.
- Événements spéciaux/festivals – utilisés pour promouvoir ou mettre en valeur une région grâce à la couverture médiatique associée. À titre d'exemples, il y a des concours de pêche, des festivals marins, des conférences et des ateliers, des triathlons et des courses de kayaks de mer (Nicolson, 1998; British Columbia, 2001b).

5.5.4 L'industrie des croisières touristiques

Les croisières deviennent de plus en plus populaires auprès des touristes qui visitent la côte de la C.-B. Vancouver, Victoria, Prince Rupert et d'autres villes côtières telles que Nanaimo, Campbell River et Alert Bay sont maintenant devenues des escales à la fois pour les navires de croisières de luxe et les navires de mini-croisières qui sillonnent les eaux de la côte ouest pendant la saison (qui dure de mai à octobre). Au cours des mois d'été, B.C. Ferries offre également ses services dans l'Inside Passage (Passage de l'Intérieur) aux passagers qui se déplacent entre Port Hardy et Prince Rupert et qui choisissent un moyen de transport plus modeste (British Columbia, 2003b).

Les plus grandes villes portuaires de la C.-B. desservent également les navires de croisière qui vont vers l'Alaska ou en reviennent. Les destinations nord-américaines ont été les premiers bénéficiaires de la croissance de l'industrie des croisières touristiques au cours des dernières années, étant donné que les croisières nordiques sont devenues plus populaires. L'Alaska a récemment dépassé la région méditerranéenne au titre de la deuxième destination de croisière la plus populaire, après les Caraïbes. Les croisières en Alaska, même si elles étaient déjà à la mode avant septembre 2001, sont devenues encore plus attrayantes pour les Nord-Américains qui préfèrent rester plus près de chez eux et, dans la mesure du possible, éviter de prendre l'avion pendant leurs vacances (British Columbia, 2003b).

Pour des régions plus éloignées, comme le centre et le nord de la côte de la C.-B. ainsi que le nord de l'île de Vancouver, le tourisme représentait une composante relativement mineure de l'économie, étant donné le petit nombre relatif de visiteurs dans la région, l'absence de moyens de transport et la prédominance de l'industrie primaire. Cependant, depuis la fin des années 80, les trajets des traversiers et des navires de croisière vers Prince Rupert et l'Alaska ont suscité une nouvelle activité touristique considérable le long de ces régions côtières éloignées. En outre, on s'attend à ce que l'industrie touristique continue à connaître d'importants changements au cours du nouveau millénaire qui seraient amenés par des facteurs comme l'amélioration des transports, les grands progrès technologiques, la situation économique mondiale et l'évolution démographique (Dobson, 2002).

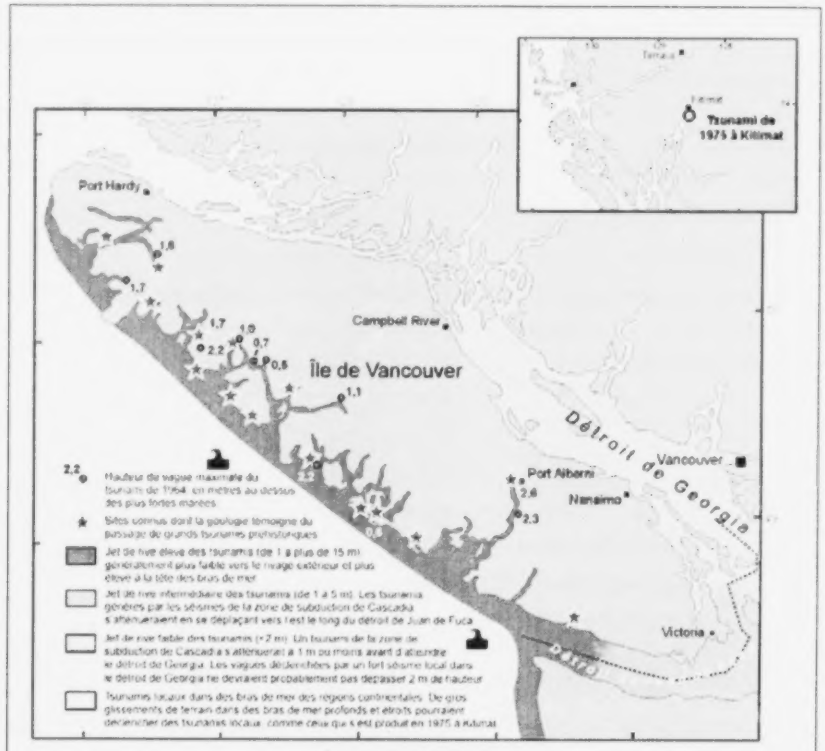
De plus, la nature des croisières subit des changements fondamentaux. Comme pour le tourisme sur terre, les gens recherchent la qualité et une expérience à bord plus diversifiée, combinée par endroits à des expériences récréatives, culturelles et éducatives. Des ports d'escale et des destinations plus éloignées accessibles deviennent ainsi essentiels. Cette tendance se reflète dans le chevauchement entre les activités de croisière, d'écotourisme et d'aventure. Tandis que la plus grande partie de la côte demeure inaccessible par route, on produit de nouvelles cartes marines de façon à permettre aux plaisanciers d'emprunter des trajets moins fréquentés à travers le vaste ensemble d'îles et de bras de mer. Accompagnant la navigation de croisière et l'écotourisme, l'établissement de communautés « portes d'entrée », d'hôtels à pavillons et de ports de plaisance vise à créer des points d'accès pour une variété d'activités récréatives et culturelles. Par conséquent, plus de gens pourront ainsi visiter régulièrement ou résider dans des régions autrefois peu peuplées (Dobson, 2002).

Là où le tourisme s'est établi, des changements de la structure démographique et économique des communautés ont suivi. La progression du tourisme et des activités récréatives de plein air ont donné l'occasion aux entrepreneurs locaux de promouvoir des services connexes : hébergement, services immobiliers, services bancaires, ravitaillement et réparation d'automobiles et de bateaux, restaurants, art et artisanat, location de matériel et de bateaux ainsi qu'affrètement, circuits touristiques locaux et cours de formation pour des activités de plein air. Par ailleurs, de nombreuses communautés sont devenues les lieux de résidence d'écrivains, d'artistes et d'artisans.

5.6 Évolution des activités sur la côte et nouvelles vulnérabilités

Les régions de la Colombie-Britannique les plus vulnérables aux dangers que posent les tsunamis sont les réseaux de bras de mer le long de la côte ouest de l'île de Vancouver et des îles de la Reine-Charlotte, ainsi que le littoral continental entre la pointe sud des îles de la Reine-Charlotte et la pointe nord de l'île de Vancouver (voir la figure 9). Comme le démontrent les figures 10, 11 et 12, il existe également une corrélation entre ces régions et la majorité des nouvelles activités socio-économiques planifiées ou en évolution.

Figure 9 Lieux vulnérables aux grands tsunamis
(Source : Clague et coll., 1999)



Grands tsunamis récents

1700 Rivage extérieur de la Colombie-Britannique. Un grand séisme de subduction dans la zone de subduction de Cascadia a déclenché un tsunami qui a déposé des sédiments grossiers dans des marais littoraux et des lacs de faible altitude sur la côte ouest de l'île de Vancouver. La répartition des dépôts indique que ce tsunami était beaucoup plus grand que celui de 1964.

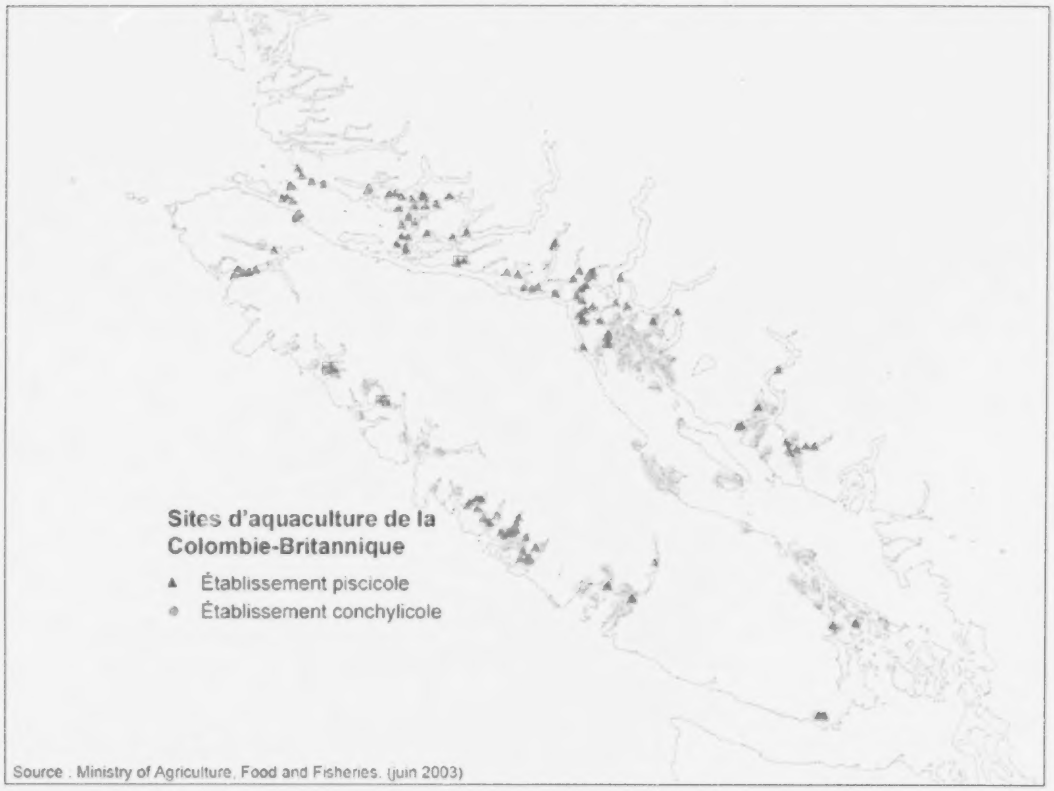
1960 Rivage extérieur de la Colombie-Britannique. Un séisme de magnitude 9,5 au Chili a déclenché un tsunami qui a parcouru la longueur de l'océan Pacifique. Une vague de 1,2 m a été enregistrée à la station marégraphique de Tofino, alors que le jet de rive a été plus élevé dans de nombreuses autres zones. Des estacades situées le long de la côte ouest de l'île de Vancouver et dans les îles de la Reine-Charlotte ont été endommagées.

1964 Rivage extérieur de la Colombie-Britannique. Un séisme de magnitude 9,2 en Alaska a provoqué un tsunami qui a causé des dommages sur environ 10 m de la côte de l'île de Vancouver. La plus haute vague a dépassé une amplitude de 6 m à Port Alberni, causant des dommages à 280 bâtiments dans cette communauté. La hauteur de vague maximale relevée à la station de Tofino était de 2,4 m.

1975 Kitimat. Un grand glissement de terrain sous-marin près de la tête du bras de mer de Kitimat, en avril 1975, a déclenché des vagues qui ont causé des dommages évalués à 600 000 $ aux quais et à d'autres installations riveraines de Kitimat.

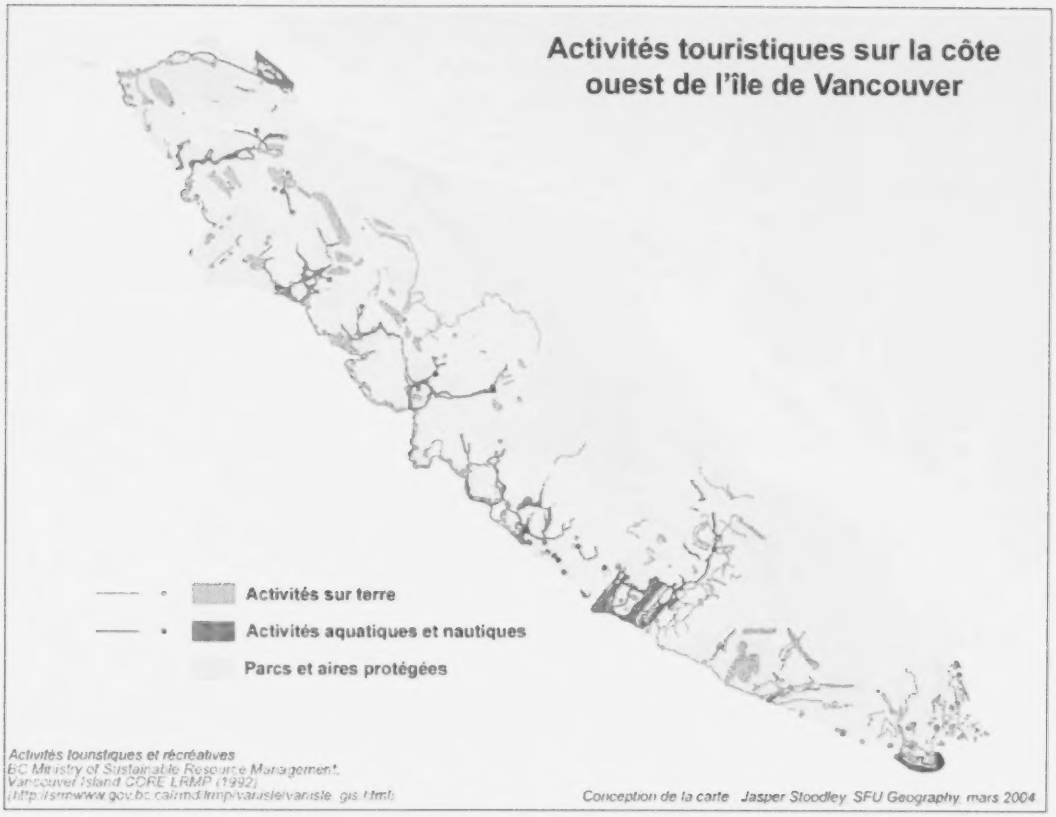
La figure 9 est une carte des risques de tsunamis illustrant quatre zones générales de risques, ainsi que les sites où on a observé les effets de grands tsunamis préhistoriques, l'emplacement du tsunami de 1975 à Kitimat et les hauteurs maximales des vagues du tsunami de 1964 en Alaska. Des détails sur quatre tsunamis récents de grande ampleur sont donnés au bas de la carte. Le sud-ouest de la Colombie-Britannique est la seule région du Canada pour laquelle on dispose de suffisamment d'information pour produire une telle carte.

Figure 10 Sites d'aquaculture dans les régions côtières du sud de la Colombie-Britannique
(Dérivé de : British Columbia, 2001b)



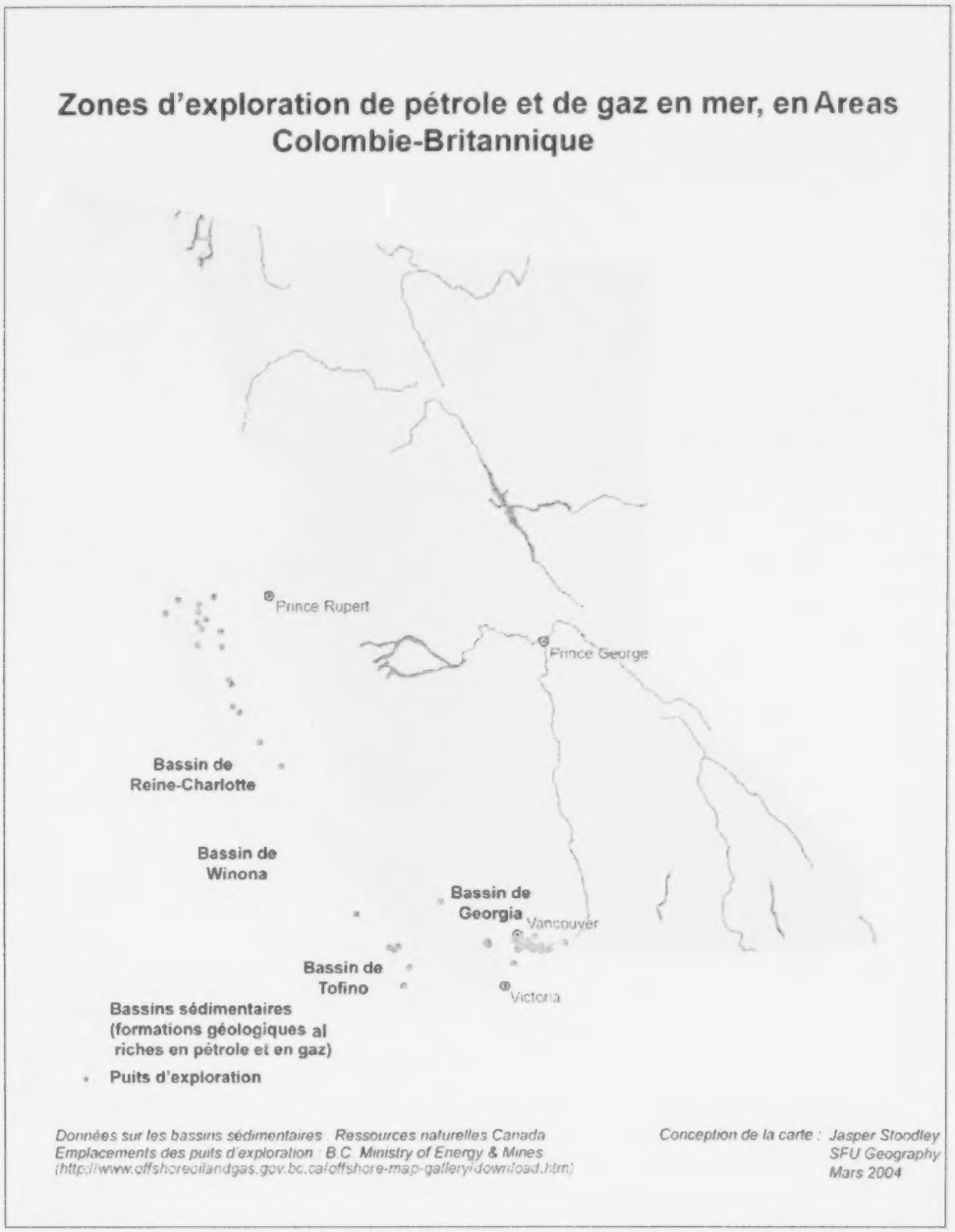
La figure 10 représente les exploitations aquicoles sur la côte ouest de l'île de Vancouver. Les carrés verts indiquent les emplacements d'établissements piscicoles, les carrés mauves indiquent les établissements conchylicoles, tandis que les cercles bleus correspondent aux usines de transformation détenant des permis.

Figure 11 Activités touristiques sur la côte ouest de l'île de Vancouver



La figure 11 met en évidence les attraits, les routes et les activités d'intérêt touristique dans la région de la baie Clayoquot sur la côte ouest de l'île de Vancouver.

Figure 12 Exploration pétrolière et gazière en mer le long de la côte de la C.-B.



La figure 12 illustre les zones d'intérêt pour la future exploration pétrolière et gazière en mer le long de la côte de la C.-B.

6.0 Efficacité du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.

En ce qui concerne l'évaluation de l'efficacité, l'actuel *Tsunami Warning and Alerting Plan* (édition 2001) (« le Plan ») de la C.-B. souligne le besoin « d'améliorer la détection des tsunamis, les systèmes d'avertissement et d'alerte et les techniques de communication », sans toutefois spécifier où une telle amélioration serait la plus nécessaire. Cependant, le Plan établit six composantes pour la stratégie d'atténuation des risques de tsunamis de la C.-B. (*Tsunami Mitigation Strategy*). Ces six composantes peuvent servir de base pour l'évaluation de l'efficacité de l'actuel système d'alerte en s'appuyant sur des discussions avec des intervenants clés et sur un examen des rapports des exercices et des événements antérieurs :

- Amélioration de la détection
- Modélisation et cartographie des tsunamis
- Planification des mesures d'urgence au niveau local
- Avertissement et alerte au niveau local
- Stratégies d'intervention au niveau local
- Sensibilisation et éducation du public

Bien que le but de la présente étude consiste en partie à identifier les problèmes connus ou les préoccupations à l'endroit du système d'alerte de la C.-B., on se concentrera principalement sur deux composantes : le système d'avertissement et d'alerte local, ainsi que la sensibilisation et l'éducation du public. En dépit du fait que les autres composantes devraient être considérées comme essentielles au succès du TWS C.-B. dans son ensemble, cette étude met l'accent sur le réseau de diffusion du niveau 3, pour lequel les quatrième et sixième composantes sont les plus pertinentes.

L'évaluation la plus ancienne (et la plus complète) du TWS C.-B. dont on a connaissance remonte à 1976 et a été publiée par deux géographes de l'Université de Victoria, Harold Foster et V. Wuorinen (Foster et Wuorinen, 1976). À ce moment, la conclusion générale indiquait que le TWS C.-B. était nettement « insuffisant » en s'appuyant sur un certain nombre de constatations :

- délais excessifs pour l'émission d'avertissements dans des cas de tsunamis locaux;
- lacunes en matière d'essais du TWS « au-delà du niveau du PEP »;
- confiance excessive dans des « transmissions sans accusé de réception » pour la diffusion d'avertissements;
- communications déficientes dans des petites collectivités isolées;
- plans d'intervention mal établis et manque de ressources dans les communautés locales;
- vides administratifs pour l'utilisation des systèmes existants de sirènes.

À l'époque, le rapport affirmait qu'on n'avait fait « aucune tentative pour élaborer des plans [d'intervention locale] pour les communautés de l'île de Vancouver », en dépit des obligations établies pour le Canada dans le PTWS (p. 121). La planification au niveau local a été entravée par le manque de systèmes d'alerte, de cartes des zones inondables et de voies d'évacuation planifiées au préalable (p. 121). À ce moment-là, une seule communauté côtière de la C.-B. (Port Alberni) avait un plan d'alerte aux tsunamis (p. 118).

Dans un grand nombre de petites communautés isolées le long de la côte de la C.-B., on constatait un manque de soutien efficace aux communications ou, dans certains cas, personne n'avait été désigné pour le suivi et la diffusion des avertissements. Les technologies de communications disponibles, énoncées dans le rapport, comprenaient le téléphone, le radio-téléphone, ainsi que le réseau « Raven », qui a été décrit comme « un système de radio-téléphone indépendant, possédé et géré par des Indiens » dont la base se trouvait près de Courtenay sur la côte est de l'île de Vancouver (p. 116, 118). En outre, la transmission aux communautés d'avertissements sans accusé de réception (à sens unique) risquait de causer des problèmes pour confirmer la réception de messages d'alerte et les systèmes de sirènes, qui relevaient à l'époque de la compétence du gouvernement fédéral, n'étaient autorisés qu'en cas d'alerte nucléaire, de sorte qu'ils n'étaient pas disponibles pour les alertes aux tsunamis (p. 122).

Le rapport affirme que les constatations pour d'autres régions touchées assez récemment par des tsunamis approximativement à cette époque (Hawaï, Crescent City en Californie) avaient

> ...démontré que, à moins que le public ne soit parfaitement informé des risques possibles de tsunamis et obtienne aisément de l'information détaillée décrivant comment réagir en cas d'alerte, un grand nombre de personnes n'évacueront pas les régions menacées, même si des inondations sont pratiquement certaines. (p. 122)

Les résultats d'un sondage effectué à la suite du tsunami de Hilo (Hawaii), en 1960, corroborent cette affirmation, indiquant que 59 pour cent de la population locale n'a pas évacué la zone menacée malgré l'alerte donnée par des sirènes avant l'arrivée du tsunami. Les principales raisons données indiquaient que la sirène avait été interprétée comme un signal préalable et non comme un signal d'évacuation; ou encore que la signification de la sirène n'était pas claire ou tout simplement pas connue. Dans de telles situations, les gens ont choisi délibérément de ne pas évacuer (Beaulieu, 2001).

L'étude de la C.-B. de 1976 (p. 122) conclut que, à l'époque, des renseignements détaillés pour la population locale « n'étaient pas suffisamment disponibles » et qu'il faudrait accroître les efforts pour améliorer l'évaluation des risques de tsunami et hausser les mesures de protection appropriées en cas d'alerte. L'étude termine en affirmant que jusqu'à ce qu'une telle « évaluation » puisse être faite, le TWS C.-B. « ne pourra jamais être considéré efficace. »

L'étude de 1976 présente une base de référence historique permettant d'évaluer les fonctions locales d'alerte et de sensibilisation du public du TWS C.-B. Est-ce que ces préoccupations fondamentales ont été abordées au cours des décennies qui se sont écoulées? De nouvelles préoccupations sont-elles apparues? Comment les changements des conditions locales présentent-ils un défi continuel pour trouver des solutions à ces préoccupations?

Les résultats de ce qu'on pourrait appeler « l'évaluation Foster-Wuorinen » de 1976 ont été classés dans des catégories apparentées, dans le but d'évaluer la présente situation :

- Failles dans les communications (y compris les systèmes de détection)
- Préparation et mise à l'essai des plans d'avertissement et d'alerte des communautés
- Vides administratifs

6.1 Failles dans les communications

L'avènement de nouvelles technologies de communications au cours de la dernière décennie, notamment les systèmes de communications terrestres à large bande et par satellite, tendrait à suggérer que de nombreuses failles rapportées dans l'évaluation Foster-Wuorinen soient du passé. Cependant, en ce qui touche les niveaux 2 et 3 des réseaux de diffusion, il ne semble pas évident que la couverture locale de radio et de télévision, pour de nombreuses communautés éloignées le long de la côte de la C.-B., est beaucoup mieux qu'en 1976. Une grande partie de la radiodiffusion en direct atteignant les communautés rurales est transmise grâce à une alimentation réseau à des émetteurs locaux sans prévoir l'insertion d'un contenu local. De nombreuses régions côtières sont mal desservies, parfois pas du tout, par le service local ou régional de radio ou de télévision. Le service de radiodiffusion directe (SRD) à domicile par satellite peut être disponible dans bon nombre de communautés, mais ne serait pas fiable pour la diffusion d'alertes aux tsunamis puisqu'une grande partie de la programmation diffusée par ce système provient de grands centres urbains et ne comporte pas de rapports sur les conditions locales.

L'accès au réseau téléphonique public commuté se serait amélioré dans de nombreuses communautés éloignées, bien qu'il reste à voir jusqu'à quel point, dans une perspective de couverture et de capacités. L'infrastructure et la capacité locales dans certaines petites communautés peuvent éprouver des problèmes à offrir des solutions pour la diffusion d'alertes à l'aide de réseaux de lignes terrestres (p. ex. avis par système d'appel automatique). Les services commerciaux de téléphonie cellulaire ne sont pas disponibles dans de nombreuses communautés éloignées et le service de radiodiffusion maritime VHF de Telus semble décliner lentement, même en voie de disparaître, étant donné qu'on adopte les téléphones satellites pour les communications téléphoniques et la transmission de données à distance.

Les radiocommunications maritimes demeurent un important moyen de communication le long de la côte de la C.-B., même si la fiabilité du système n'est pas évidente pour alerter les populations de passage et les touristes qui ne connaissent ni le fonctionnement du système, ni les SCTM de la Garde côtière.

L'évaluation récente de l'efficacité du réseau de diffusion de niveau 1 a rapporté une bonne efficacité. Des essais entre le WC/ATWS et le PEP C.-B., par exemple, ont démontré des délais d'intervention inférieurs à 10 minutes (Canada, 2001, 2003). Des améliorations apportées au réseau de diffusion de niveau 1 (détection) visant à intégrer les technologies d'accès à Internet et par dispositifs mobiles (pour compléter les liens existants par modem téléphonique et par satellite) offrent la promesse d'augmenter davantage l'efficacité, tout en créant de nouveaux points de défaillance. Toutefois, il est probable que de telles questions seraient soulevées et traitées lors des réunions régulières de la COI/ITSU qui se tiennent aux deux ans (la prochaine aura lieu en 2005).

6.2 Préparation et mise à l'essai des plans d'avertissement et d'alerte des communautés

Le Plan indique que tous les ordres de gouvernement sont responsables de l'éducation du public, ce qui signifie l'évaluation des risques à l'échelle locale et la préparation d'outils pour améliorer l'état de préparation des personnes et appuyer la planification de mesures d'urgence des communautés. Alors que le PEP C.-B. produit un certain nombre d'outils d'éducation du public – notamment de l'information sur le site Web du PEP, de la signalisation et des brochures d'information traitant des préparatifs en cas de tsunami – l'évaluation des risques aux échelles locale, provinciale et fédérale coûte cher. Ce n'est qu'à l'échelle fédérale qu'il s'effectue une évaluation coordonnée des risques locaux. En 2003, le SHC a terminé des modèles d'amplification des vagues pour deux ports de la côte de la C.-B. – Victoria et Esquimalt. Tout dépendant d'un financement soutenu, on prévoit que les modèles des ports de Sooke et d'Ucluelet seront terminés en 2004.

Le Plan énonce également qu'un exercice du système provincial doit être effectué à tous les huit à dix mois. Ces exercices donnent lieu à la production de rapports, y compris des rapports d'ensemble destinés à identifier les faiblesses du système d'alerte et à permettre de faire des recommandations pour son amélioration (D-1). D'après le Plan, les rapports doivent être expédiés par la poste au bureau du PEP, bien que de nos jours le courriel ou Internet tendent à remplacer le service postal traditionnel.

Il importe de noter que le programme provincial d'exercices ne comprend pas « d'autorité locale interne » ou d'activité de coordination au niveau des organismes, à moins que ces communautés ou organismes ne fournissent leurs propres ressources et leur personnel.

D'après un certain nombre de participants, il semble que les exercices pour les plans des communautés soient peu fréquents, qu'il n'y ait pas de normes de base comme référence pour évaluer les résultats et que les rapports sur les lacunes ne soient pas facilement disponibles pour examen.

En plus des exercices réguliers, des groupes de travail et de planification régionale participent régulièrement à l'évaluation des divers aspects du TWS C.-B.. Il semble que deux groupes importants, le *Earthquake and Tsunami Working Group* de la C.-B. et le Comité régional des télécommunications d'urgence (CRTU) (Clague et coll., 2003, p. 451), se rencontrent de façon occasionnelle. Un examen complet des procès-verbaux des réunions du CRTU (Région du Pacifique) depuis les huit dernières années indique que le système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. n'a jamais été inscrit comme point spécifique à l'ordre du jour.

Il faudrait probablement tenir compte davantage d'un certain nombre de lacunes possibles. Par exemple, bien que le PEP C.-B. visite assez régulièrement les communautés, il ne semble pas avoir établi une stratégie claire visant à étendre ses efforts pour inclure les groupes d'intérêt économique et récréatif de la côte de la C.-B. à des fins d'éducation et de consultation sur l'atténuation des risques de tsunamis. Il est probable qu'il faudra aborder cette question puisque les changements socio-économiques sur la côte demanderont des efforts accrus pour la gestion des risques et pour l'élaboration et la distribution de produits d'information pertinente.

6.3 Vides administratifs

Le gouvernement provincial entreprend périodiquement des exercices à grande échelle afin de mettre le TWS C.-B. à l'épreuve. On les désigne comme les exercices Seaswell, dont le dernier a été effectué le 28 septembre 2001. Les évaluations permettent de dresser un rapport sur le réseau de diffusion de niveau 2 (du PEP C.-B./CCMU à des points de diffusion régionaux). Les résultats du Seaswell 5 ont poussé le PEP C.-B. à réaliser un projet pilote communautaire afin d'acquérir de l'expérience, entre autres, sur les questions complexes de compétence administrative en ce qui a trait au réseau de diffusion de niveau 2.

L'initiative consistait en une présentation et une consultation dirigée par le PEP C.-B. avec les conseils des administrations locales et d'autres organismes responsables d'un secteur de compétence identifié (p. ex. Parcs Canada dans la région de Tofino). Cinq communautés ont été choisies pour cette initiative, ce qui laisse supposer qu'elles peuvent également représenter des régions importantes pour l'élaboration future du TWS C.-B. :

- Tofino (parcs fédéraux et importantes attractions touristiques à proximité)
- Ucluelet (installations de la Garde côtière canadienne)
- Port Alberni (grande agglomération, frappée par un tsunami en 1964)
- District régional d'Alberni-Clayoquot (défi particulier en matière de gouvernance)
- Port Renfrew (population de passage élevée, Premières nations, basses terres côtières)

Comme l'indique le TWAP C.-B., les communautés locales ne font pas partie des essais provinciaux réguliers, de sorte que, à l'heure actuelle, il n'est pas certain si le réseau de diffusion de niveau 3 (des autorités locales aux membres du public) a été évalué ou non de façon systématique, le long de la côte de la C.-B. Il importe également de noter que l'actuel TWAP C.-B. et les exercices connexes sont principalement conçus pour des tsunamis en champ lointain, ce qui signifie que les tsunamis locaux demeurent un cas spécial dont les communautés locales devront tenir compte dans leur planification.

7.0 Pratiques exemplaires dans la conception de systèmes d'alerte

La présente section examine le consensus actuel sur les pratiques exemplaires pour la conception de systèmes d'alerte efficaces basés sur des considérations sociologiques et opérationnelles. De façon générale, des études sociologiques ont conclu que les réactions des individus aux avertissements sont liées à trois facteurs :

- la perception individuelle du risque;
- la nature de l'information sur l'alerte;
- le contexte social et les caractéristiques personnelles du destinataire.

Pour réussir la conception d'un programme d'alerte, il faut tenir compte de variables telles que l'aversion pour le risque, la conception efficace du message et le contexte social dans lequel les messages d'alerte sont reçus. Beaucoup de travail a été accompli dans ce sens et des pratiques exemplaires ont été intégrées dans un certain nombre de documents, y compris un récent rapport rédigé par un groupe d'experts sur les préoccupations de Parcs Canada en matière de communication des risques, en l'occurrence sur les risques d'avalanche dans l'arrière-pays de l'ouest du Canada (O'Gorman et coll., 2003).

Le rapport met en perspective, de façon générale, les pratiques exemplaires en matière de communication des risques et de conception des avertissements en cas de danger, et présente d'intéressants parallèles avec les risques de tsunamis sur la côte de la C.-B. À ce titre, on constate la nécessité d'une analyse souvent complexe pour déterminer l'étendue des risques, le besoin d'une vigilance continuelle, ainsi que la gamme étendue et diversifiée des gens qui peuvent être en danger. Dans le cas d'avalanches, on compte parmi les groupes qui entrent dans l'arrière-pays des touristes novices et experts, ainsi que des travailleurs saisonniers. L'approche sur la communication des risques présentée dans le rapport offre des perspectives importantes lorsqu'on réexamine le concept de système d'alerte aux tsunamis dans le cadre d'une stratégie plus globale de gestion des risques pour les aménagements côtiers de la C.-B.

7.1 Évaluation des risques

- Existe-t-il une méthode uniforme de collecte et d'établissement de rapports pour les données pertinentes, de façon à ce que les planificateurs et le public puissent avoir une vision claire des risques comparatifs basés sur les conditions locales?
- Les méthodes utilisées pour faire la synthèse des données dans les alertes et avertissements locaux sont-elles cohérentes et robustes?

7.2 Gestion des risques

- Pour différentes autorités locales et dans des situations similaires, les résultats de l'évaluation des risques, sont-ils compris et signalés de manière cohérente?
- La répartition de la responsabilité de gestion des risques (entre le gouvernement fédéral, le PEP C.-B., les autorités locales, le secteur privé) est-elle clairement présentée et bien comprise par les personnes exposées à des risques?

7.3 Communication des risques

- Les divers types et l'ampleur des risques pertinents sont-ils présentés aux membres du public de façon à ce qu'ils puissent porter des jugements éclairés sur la prise de risques?
- Utilise-t-on efficacement la gamme complète des formats de présentation de l'information pour faire connaître les dangers?
- Peut-on rejoindre les groupes d'utilisateurs « les plus vulnérables » avec des avertissements facilement compréhensibles?

Bien que le rapport souligne que les questions d'évaluation et de gestion des risques s'appliquent très bien à l'efficacité globale d'un système d'avertissement en cas de danger, les auteurs se concentrent sur trois pratiques exemplaires principales en matière de communication des risques, qui sont pertinentes pour la conception d'un système d'alerte aux tsunamis, particulièrement dans le cadre du réseau de diffusion de niveau 3.

La première de ces pratiques touche la question du « devoir d'avertir » et affirme qu'il faut des objectifs clairement définis pour appuyer les avertissements émis. Le devoir d'avertir peut comporter différents objectifs selon les circonstances. Dans certains cas, un avertissement peut être émis pour absolument empêcher certaines actions (p. ex. « défense d'entrer »); dans d'autres cas, le devoir d'avertir doit atteindre un équilibre entre la sensibilisation et la compréhension éclairée du public sans toutefois « empêcher indûment des activités » (p. 35).

La deuxième considération vise à établir le test de base permettant de déterminer l'efficacité des avertissements en cas de danger, en se concentrant sur trois composantes clés (citées directement) : (1) si l'utilisateur le moins averti arrive ou non (2) à une prise de conscience adéquate des risques (3) au moment où l'activité est sur le point d'être entreprise [souligné dans l'original] (p. 36). Les auteurs suggèrent qu'un essai auprès de groupes de consultation constitue le meilleur moyen d'évaluer ces composantes dans la conception de messages d'alerte. Dans ce contexte, la « prise de conscience » fait référence à la présence d'esprit au bon moment et à la bonne place.

Le troisième aspect à considérer dans les pratiques exemplaires touche directement le contenu des messages d'alerte qui, il faut le remarquer, comporte deux éléments de base : texte et symboles (p. 36). Le texte peut être soit écrit ou parlé dans le cas d'une radiodiffusion, alors que les symboles peuvent être visuels et sonores (p. ex. le hurlement d'une sirène). À cela on pourrait ajouter le contexte et le facteur temps, dans la mesure où la conception du message doit tenir compte du contexte dans lequel un avertissement doit être transmis de même que du moment où il doit être transmis, chacun ayant éventuellement une influence sur le contenu textuel et symbolique. Bon nombre de travaux ont porté sur cet aspect et le rapport cite au moins deux sources qui peuvent servir de points de référence pour la conception de messages d'alerte visuels (p. 36), permettant d'améliorer et de normaliser davantage les messages d'alerte.

Voici, par exemple, deux documents sur les pratiques exemplaires pour la conception de messages d'alerte destinés au public :

- Wogalter et coll. (1999). *Warnings and Risk Communication*. Taylor et Francis.
- « Natural Hazard Safety Signs », préparé pour Parcs Canada, Région de l'Ouest, par Western Ergonomics Inc. et Paul Arthur, VisuCom Ltd., 1996.

7.4 Populations particulières à risque

M. J. Handmer (Handmer, 2002) a constaté que les rapports de recherche antérieurs ont accordé une attention considérable à des groupes vulnérables et visibles, mais que beaucoup moins de travaux avaient été consacrés aux populations moins visibles, qui pouvaient cependant être soumises à des risques élevés. Il relève les catégories suivantes :

- toute personne qui serait en déplacement au moment critique d'une alerte
- les touristes
- les voyageurs de commerce
- les travailleurs saisonniers
- les personnes en situation d'isolement social (sans-abri, reclus et sans-papiers)

L'auteur identifie un autre groupe qui tend à occuper de façon occasionnelle des régions à risque élevé, soit les autochtones nomades (*bushwalkers*, dans le cas de son étude australienne), ainsi que les adeptes indépendants du tourisme d'aventure. Parmi les groupes qui réunissent le plus grand nombre de personnes à risque à tout moment, on compte, selon Handmer, les campeurs et les groupes organisés d'adeptes de la récréation, – groupes qui ont « grandement contribué à alourdir le bilan meurtrier des crues soudaines » en Europe et à d'autres endroits (p. 21). Pour compliquer les choses, les groupes organisés seraient conscients des dangers et même des avertissements, mais manqueraient de jugement quand il s'agit de prendre des décisions.

7.5 Touristes

Des sociologues ont examiné la façon dont les entreprises touristiques abordent la protection des touristes face aux dangers naturels au moyen de mesures d'évacuation d'urgence et d'autres mesures (Burby et Wagner, 1996). Dans le cas d'hôtels aux États-Unis, on constate dans ce secteur de recherche que, tandis que la plupart des hôtels disposeraient de plans d'urgence écrits, aussi peu que la moitié d'entre eux auraient un plan d'évacuation des clients. On signale que les plans d'urgence de nombreux hôtels n'ont pas été révisés ou mis à l'essai de façon régulière et qu'une grande partie de ces plans auraient été préparés et soumis sans la participation des personnes qui seraient éventuellement appelées à les mettre en œuvre, donnant dans certains cas une fausse impression de l'état de préparation du personnel et des gestionnaires.

Il semble que la taille des établissements puisse avoir un rapport avec l'état de préparation. Ainsi, pour les petits hôtels indépendants, il semblait facile d'ignorer la planification en raison des limites de leurs ressources. Cependant, la taille des entreprises ne permettrait pas de prévoir correctement l'état de préparation pour une évacuation, puisque cet état de préparation est plus étroitement lié aux perceptions individuelles et à l'expérience des directeurs d'hôtels.

On a découvert que certaines administrations d'hôtels, ne voulant pas prendre la responsabilité de leurs clients à l'extérieur de leurs établissements, ont évité d'adopter une politique officielle sur un guide d'évacuation de leurs clients, préférant informer leurs clients au moyen de l'affichage de mises à jour sur les risques.

On a également noté un certain nombre de problèmes possibles dans le cas d'évacuations obligatoires, notamment l'incapacité d'assurer le transport d'un grand nombre de clients évacués à la fois, de même que l'insuffisance des plans d'urgence municipaux pour assurer l'évacuation de milliers de touristes logeant dans des hôtels, des centres de villégiature et d'autres modes d'hébergement commerciaux menacés.

Les observations du secteur hôtelier ont permis de faire ressortir un certain nombre de pratiques exemplaires, mettant en évidence plusieurs considérations : les établissements plus petits ont besoin du soutien des associations de ce secteur économique ou des autorités locales pour la préparation et la révision des plans d'urgence; les directeurs d'hôtels sont mieux préparés lorsqu'ils ont participé à des exercices d'évacuation, avec d'autres organismes communautaires.

À cet égard, la principale mesure de précaution consiste à hausser le niveau de sensibilisation et de compréhension des risques auprès de l'administration et du personnel des hôtels, au moyen d'une campagne d'information, d'ateliers réguliers ou d'événements dans le secteur hôtelier. Cela pourrait être entrepris par l'intermédiaire d'associations de l'industrie hôtelière, tout en travaillant de concert avec les planificateurs provinciaux. On recommande aux autorités locales de collaborer étroitement avec des entreprises individuelles pour les aider à préparer des plans d'évacuation ou encore de préparer et distribuer des manuels de planification de mesures d'urgence et d'évacuation à l'intention des entreprises et établissements d'hébergement de petite taille. Selon le rapport, les autorités locales doivent également établir et maintenir, grâce à des exercices réguliers, des liens directs de communication avec les grands établissements touristiques dans le cadre d'une stratégie à long terme de communication des risques.

7.6 Avis et respect des consignes

Dans les nombreuses études sociologiques sur la phase d'avertissement en cas de désastre, on note une préoccupation prédominante pour la question du respect des consignes par la population, particulièrement dans le cas de groupes particuliers en situation d'isolement social, notamment les gens âgés et les groupes de passage.

Une première étude sur les rapports d'alertes aux tsunamis s'appuyait sur des constatations dans deux communautés américaines, à la suite du séisme survenu en Alaska, le 27 mars 1964 (Anderson, 1969), soulevant un certain nombre de points qui valent la peine d'être examinés encore aujourd'hui. En premier lieu, la formulation des bulletins d'urgence constitue un facteur critique pour empêcher tout retard de la part des représentants locaux à prendre des décisions sur une évacuation. Une information ambiguë quant à l'existence d'un danger peut entraîner des incohérences et des retards pour la mise en œuvre des plans d'urgence locaux. Deuxièmement, dans le cas de tsunamis – contrairement à d'autres formes de dangers – il est probable qu'aucun indice du danger ne serait décelable dans l'environnement. Par conséquent, les autorités locales doivent dépendre de l'information provenant de l'extérieur quant à la menace, exigeant une plus grande rapidité de diffusion des mises à jour, ainsi que plus de clarté et de détails dans les

bulletins. Si l'un ou l'autre de ces éléments manquait, les représentants locaux et les résidents devraient s'appuyer sur des sources non officielles, ce qui pourrait entraîner une mauvaise information, de la confusion ou de l'indécision afin de prendre des mesures. Un rapport sur l'événement de Sanriku, en 1989, confirme cette observation, notant que les faibles taux de respect des consignes par le public coïncidaient avec « l'absence d'un plan d'urgence coordonné et cohérent » du côté des autorités gouvernementales (Yoshii, 1990).

Une recherche sociologique menée au cours des trois dernières décennies auprès de populations de personnes âgées semble avoir engendré une hypothèse erronée chez les planificateurs de la gestion des urgences, selon laquelle les populations particulières peuvent présenter des problèmes lors d'alertes destinées au public, parce qu'elles seraient hésitantes à prendre des mesures de protection malgré les avertissements des autorités. Cependant, une recherche plus approfondie sur le sujet a conclu que le non-respect des avis d'alerte serait plus étroitement lié à la réception en temps opportun des messages d'alerte de la part d'une source fiable et à la capacité de se conformer volontairement au message d'alerte en prenant des mesures de protection (Perry et Lindell, 1997).

7.7 Réseaux de diffusion des avertissements

L'étude de Sorensen (Sorensen, 2000), couvrant deux décennies de recherche sur les systèmes d'alerte, établit une distinction entre les systèmes d'alerte à court terme et ceux à long terme, opposant des activités comme la prévision et la modélisation (long terme) et la diffusion d'avis d'avertissement ou d'alertes (court terme). Selon les conclusions de l'étude, la prévision et la prédiction des risques de tsunamis n'ont pas été améliorées de façon notable au cours des 20 dernières années (p. 119), ce qui serait contestable puisqu'on remarque que les liens de communication et les capacités de l'informatique ont certainement fait des progrès énormes pendant la dernière décennie. Il serait plus juste de dire que le potentiel de prévision s'est grandement amélioré, tandis que la mise en œuvre de mesures accuserait un retard par rapport aux mesures qui touchent d'autres dangers naturels.

Un principe fondamental de la conception des systèmes d'alerte, selon Sorensen, est l'intégration entre les trois sous-systèmes dans le modèle de Mileti (p. 120). Sorensen n'aborde pas la façon de mesurer ou d'évaluer l'intégration, mais souligne simplement que les trois sous-systèmes doivent effectivement être associés afin de garantir des avertissements exacts en temps opportun. Certains des défis les plus importants pour l'intégration se situent au troisième niveau du réseau de diffusion, pour lequel, d'après Sorensen, jusqu'à 50 % des avis initiaux d'alerte passent par des réseaux sociaux officieux, plutôt que par des voies officielles. Handmer (Handmer, 2002) a également souligné l'importance de comprendre les liens entre les réseaux officieux et officiels comme une étape vers l'amélioration de la conception générale des systèmes d'alerte.

Les mesures à prendre au troisième niveau d'un système d'alerte pourraient être liées à la portée, au respect des consignes et au temps d'intervention (p. 121). L'étude de Sorensen a également conclu que des dispositifs spécialisés sont aptes à diffuser plus rapidement que les médias de masse et que ces systèmes sont au maximum de leur efficacité lorsqu'ils intègrent des composantes intérieures et extérieures. Parmi les technologies courantes, les systèmes d'alerte téléphoniques et sonores atteignent, semble-t-il, le plus grand nombre de personnes dans les meilleurs délais. Viennent ensuite les sirènes et les médias de masse (p. 122).

L'étude de Sorensen soutient qu'il n'y a aucune preuve permettant de conclure que l'éducation du public amène une augmentation importante des taux de réponse aux avertissements (p. 121). Cette affirmation est appuyée par d'autres études (Handmer, 2002). Toutefois, l'étude souligne également qu'un programme modeste d'éducation n'entraînera pas nécessairement des taux de réponse plus faibles, indiquant ainsi que, au-delà d'un certain niveau, des investissements plus importants pour l'éducation du public n'auraient pas d'effets bénéfiques plus importants se traduisant par un respect accru des avertissements lors de leur diffusion.

Dans l'ensemble, les conclusions de l'étude de Sorensen indiquent que les systèmes d'alerte peuvent permettre de réduire le nombre de morts et de blessés parmi les populations à risque, mais n'ont pas démontré d'effets importants sur la réduction des dommages matériels aux propriétés ou aux infrastructures, ou de la perturbation économique (p. 123). Dans certains cas, le déploiement d'un système d'alerte peut augmenter les risques en encourageant l'occupation à long terme dans des zones à risque élevé d'une communauté. Il faudra donc mettre l'accent sur une dimension à long terme des alertes afin d'améliorer les prévisions et la modélisation comme moyens pour favoriser l'aménagement urbain et les contraintes de zonage.

Le rapport de Sorensen fait trois recommandations visant à améliorer l'intégration des sous-systèmes d'alerte dans un système plus efficace. La première recommandation préconise une stratégie nationale en cas d'alerte qui pourrait également soutenir des modèles pour la mise en œuvre dans les communautés locales. La seconde préconise l'amélioration des systèmes d'alerte existants de deux façons : par des mesures peu coûteuses ou sans frais, comme l'amélioration des pratiques de gestion en combinaison avec l'acquisition d'un « meilleur matériel ». Le rapport ajoute, cependant, que « l'amélioration de la gestion locale et de la prise de décisions sur les processus d'alerte sont plus cruciales que la promotion de technologies de pointe » (p. 124). Cela signifie, en fait, que les critères pour la mise à niveau du matériel devraient s'appuyer sur la *pertinence* quant aux besoins de la communauté locale, plutôt que de choisir en fonction de la plus récente technologie. En troisième lieu, Sorensen préconise de combler l'écart des connaissances entre la détection, la prévision et l'évaluation des incidences afin de favoriser la réduction des risques à long terme, à titre de stratégie complémentaire (peut-être dominante) pour un système local d'avertissement et d'alerte.

7.8 Pratiques exemplaires dans la conception des systèmes d'alerte

Le *Working Group on Natural Disaster Information System* des États-Unis, un groupe de travail sur les systèmes d'information en cas de catastrophe naturelle, a publié en 2000 un document intitulé *Effective Disaster Warnings* (United States. National Science and Technology Council, 2000). Parmi ses diverses constatations et recommandations, le document établit un ensemble de lignes directrices pour la conception de systèmes d'alerte, à partir desquelles on a dérivé six principes fondamentaux :

- Pertinence
- Choix du moment opportun
- Redondance
- Clarté
- Crédibilité
- Axé sur l'action

Il est raisonnable de supposer que les systèmes d'alerte contemporains aux États-Unis et dans d'autres régions, y compris le Canada, sont conçus selon ces principes de pratiques exemplaires.

On atteint un niveau plus élevé de pertinence lorsque les avertissements sont transmis aux personnes exposées à des risques qui sont capables de comprendre et d'évaluer le niveau de risque pour leur communauté ou pour elles-mêmes. La pertinence est assurée grâce à la capacité de cibler des communautés spécifiques et à l'éducation des membres de ces communautés, de façon à ce que leur « présence d'esprit » soit toujours maintenue face aux risques et afin de réagir aux avertissements.

Les conceptions dont la pertinence est faible peuvent créer plusieurs problèmes. Des alarmes et des avertissements répétés et injustifiés, transmis à des communautés qui ne sont pas menacées, peuvent pousser les gens à ignorer passivement les bulletins ou même à désactiver les dispositifs d'alarme qui viennent à être considérés comme des nuisances. Par exemple, des personnes ou des communautés qui sont souvent réveillés la nuit par de fausses alarmes peuvent décider de retirer ou encore de désactiver un système local d'alerte.

Le principe du choix du moment opportun sous-tend que certains intervalles sont plus propices pour capter l'attention des gens afin de les inciter à prendre des mesures appropriées. Dans le cas de dangers à progression rapide – comme un tsunami engendré localement – l'information doit être fournie longtemps à l'avance au moyen d'une stratégie d'éducation informant les personnes qui seraient éventuellement en danger sur la façon de réagir aux signes avertisseurs perceptibles dans le milieu naturel (p. ex. séisme, retrait rapide de la marée, etc.). Dans le cas de dangers à progression lente, comme un tsunami en champ lointain, les aspects du moment opportun varieront selon la communauté spécifique et selon les interventions nécessaires au niveau local.

La redondance fait référence à la transmission des messages d'alerte par l'intermédiaire de divers systèmes technologiques, de telle sorte qu'il y a de meilleures chances que les bulletins atteignent les gens dans toutes leurs activités, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur, la nuit comme le jour. On atteint un niveau élevé de redondance lorsqu'un message d'alerte peut être transmis à tous les dispositifs d'alerte possibles dans une région donnée et qu'on en a vérifié la diffusion auprès d'une gamme représentative des populations ciblées.

La clarté est nécessaire à deux points de vue. Le premier concerne la nécessité de messages d'alerte qui transmettent clairement les éléments clés d'information : le type de danger, sa probabilité, les régions touchées, l'heure estimative d'arrivée et les instructions pour prendre des mesures de protection. L'information peut contenir une variété de symboles visuels et auditifs (formes textuelles et non verbales) organisés dans une structure logique et cohérente. La clarté signifie également qu'il faut, dans certains cas, diffuser des avertissements qui devront être compris par un grand nombre de personnes différentes dans un ensemble de communautés côtières diverses, y compris des populations de passage et saisonnières. Les obstacles linguistiques et culturels sont des considérations primordiales.

La crédibilité réfère à la reconnaissance et à l'acceptation de la source du message d'alerte. Un niveau élevé de crédibilité inclura l'organisation qui a détecté le danger, les organisations qui transmettent le message et la confiance accordée à l'information transmise concernant le danger,

notamment toute instruction sur les mesures de protection à prendre. Des messages contradictoires ou de la mauvaise information peuvent miner la crédibilité, à court terme comme à long terme, et en outre, d'après les principes des pratiques exemplaires, toute dissimulation injustifiée de renseignements peut également être problématique. Une recherche sociale a constaté que, dans certaines circonstances, la crédibilité n'est pas facilement acquise, notamment lorsque des réseaux sociaux officieux ont un rôle important à jouer pour établir la crédibilité des messages d'alerte.

Le dernier principe de conception de systèmes d'alerte efficaces vise à assurer que ceux-ci seront axés sur les mesures à prendre. Cela signifie que les messages ont pour objet d'avertir, de fournir de l'information complémentaire et d'inciter à prendre des mesures de protection. Un système d'alerte bien conçu avertira clairement la population locale du danger et fournira des instructions claires sur les mesures qui doivent être prises, ainsi que dans quelles circonstances. Cette orientation sur les mesures à prendre met également l'accent sur l'émission d'avis de fin d'alerte, lesquels peuvent avoir de l'importance lorsque, en cas de tsunami, plusieurs vagues peuvent se succéder au cours de plusieurs heures.

7.9 Recommandations sur la conception

Un certain nombre de recommandations sur la conception de base peuvent être tirées des pratiques exemplaires intégrées à la série de six principes de base et recommandées par le *Working Group on Natural Disaster Information System* des États-Unis. Les principes énoncés ci-dessous permettent de formuler au moins quatre recommandations sur la conception :

- Élaborer une terminologie normalisée pour les messages d'alerte.
- Identifier et mettre en œuvre un ensemble unique et cohérent de variables (champs) à inclure dans tous les messages d'alerte.
- Mettre au point une méthode cohérente pour l'acheminement des messages d'alerte aux populations en danger.
- Mettre au point une méthode cohérente pour cibler les populations menacées.

Cependant, selon le principe de la diversité et de la clarté, une terminologie normalisée devrait tenir compte des différences entre divers types de réseaux de diffusion, plus particulièrement ceux des niveaux 1, 2 et 3. Une autre différenciation sera peut-être également nécessaire parmi les réseaux de diffusion du niveau 3 pour certaines populations. On démontre ainsi qu'une terminologie normalisée devrait tenir compte de populations de non-spécialistes, de même que de personnes qui ne parlent pas anglais. Une possibilité serait d'adopter des synonymes officiels afin d'augmenter la terminologie de base.

Lorsqu'on cherche à identifier un ensemble de variables pour des messages d'alerte, la coordination est importante entre les initiatives et les conventions locales, régionales, nationales et internationales, afin d'optimiser la cohérence et l'interconnexion dans l'ensemble des systèmes d'alerte et de réduire la désintégration des messages lors de leur transmission dans les différents réseaux de diffusion.

La mise au point d'une méthode cohérente pour l'acheminement des messages d'alerte aux populations menacées intègre le principe de la crédibilité, puisqu'une telle méthode permet de

réduire les fausses alarmes et les messages contradictoires. La participation d'une gamme d'organisations du réseau de diffusion de niveau 3 pourrait être requise. Actuellement, le PEP C.-B., la GRC, la Garde côtière et d'autres sont au nombre des participants. La politique actuelle est-elle claire et complète?

La mise au point d'une méthode cohérente pour cibler les populations menacées intègre le principe de la pertinence, puisqu'une telle méthode offrirait plus de précision et d'exactitude pour la transmission des messages d'alerte, réduisant les possibilités d'une baisse de vigilance et de désactivation des dispositifs d'alerte. Une telle méthode permettrait également d'améliorer la stratégie de diffusion en mettant en évidence les capacités et les lacunes des communications dans des régions spécifiques. Il faudra déterminer le degré de précision et la méthode de codification des zones côtières. Toutefois, il faudrait tenir compte d'éventuels aménagements le long de la côte lorsqu'il s'agit de prendre des décisions sur des schémas régionaux de codification.

7.10 Mise en pratique des pratiques exemplaires

Les principes mentionnés plus haut et les recommandations sur la conception sont largement reconnus et offrent dorénavant une base pour les tendances et les projets actuels en matière de conception de systèmes d'alerte en Amérique du Nord et ailleurs.

7.10.1 Système d'alerte à codage numérique universel (ACNU)

En adoptant une terminologie normalisée et un ensemble de champs identifiés pour des messages d'alerte numériques, un système d'alerte à codage numérique universel (ACNU) permettrait d'activer une variété de dispositifs d'alerte à l'aide d'un seul format de message. C'est ce que recommande, dans le rapport, le *Working Group on Natural Disaster Information Systems* et qui est actuellement mis au point aux États-Unis dans le cadre du projet *Common Alerting Protocol* (CAP) sur l'élaboration d'un protocole commun pour les messages d'alerte.

Au Canada, un projet similaire semble être en route, dirigé par Industrie Canada – Télécommunications d'urgence, avec la participation du public et de partenaires privés. Le pouvoir d'élaborer un tel système au Canada est déterminé par la *Loi sur la protection civile*. À cet égard, la loi attribue à Industrie Canada un rôle de chef de file. La participation peut varier de la simple adoption de normes reçues à une participation continue dans le processus d'élaboration des normes.

7.10.2 Capacités et stratégie de diffusion des messages d'alerte

Les capacités et la stratégie de diffusion des messages d'alerte sont mentionnées dans un certain nombre de documents traitant de la conception des systèmes d'alerte. De multiples technologies sont actuellement disponibles pour la diffusion et les pratiques exemplaires proposent qu'une pléiade de systèmes soit considérée en s'appuyant sur les conditions locales (Beaulieu, 2001; Molino, 2002a, 2002b).

Les principes de diversité et de crédibilité supposent que la stratégie de diffusion devrait envisager l'utilisation de systèmes multiples avec, en place, des secteurs de compétence clairement définis et des protocoles pour la mise en œuvre. Des systèmes multiples peuvent

demander des partenariats mettant en jeu des exploitants commerciaux, ainsi que des administrations locales, provinciales ou fédérales (p. ex. systèmes de notification par appel téléphonique, systèmes locaux de sirènes, radiodiffusion à l'échelle provinciale, radio maritime). On peut trouver un examen complet des systèmes de transmission actuels et des enjeux de planification associés dans Beaulieu (2001).

Il pourrait s'avérer nécessaire qu'une stratégie multimodale de diffusion au niveau 3 soit établie d'après une politique préliminaire qui définit clairement les responsabilités en matière de communications, afin d'éviter la duplication des alertes, les fausses alertes et la mauvaise information.

7.10.3 Messages géocodés

La mise au point d'un régime d'alerte à codage numérique universel permet d'améliorer la précision et l'exactitude de la transmission des messages d'alerte aux personnes en danger. Le principe de la pertinence fait valoir qu'il s'agit d'une voie importante à poursuivre afin d'augmenter l'efficacité des systèmes d'alerte.

L'amélioration de la précision pour la diffusion des messages d'alerte, peut cependant exiger une certaine forme de géocodage pour les communautés locales le long des régions côtières. Le degré de précision exigé et la ou les méthodes exactes de géocodage devraient être établis en consultation avec d'autres organisations, afin d'assurer le maximum de cohérence et d'intégration dans l'ensemble du réseau de diffusion du niveau 3.

7.10.4 Planification locale

Le principe selon lequel la conception du système d'alerte est axée sur l'action repose sur le besoin de fournir aux communautés locales l'information et l'appui dont elles auront besoin pour planifier efficacement les interventions en réponse à toute la gamme des alertes qui pourraient être diffusées. Cette considération inclut non seulement les établissements locaux permanents, mais également les points d'accès importants aux parcs provinciaux et nationaux, de même que les entreprises commerciales saisonnières et de passage (tourisme, etc.).

8.0 Intégration des pratiques exemplaires au système de la C.-B.

Bien qu'on ne puisse pas prévenir les tsunamis, les niveaux de risque peuvent être réduits et parfois même éliminés. Pour qu'une stratégie d'atténuation des risques que posent des tsunamis soit efficace, il faut un appui à long terme de la part des communautés côtières en mettant en œuvre et en maintenant des programmes locaux et régionaux d'atténuation des risques de tsunamis, en fournissant les outils d'atténuation essentiels et en favorisant la sensibilisation et l'engagement des personnes, des entreprises, des intervenants en cas d'urgence et des décideurs gouvernementaux locaux, provinciaux et fédéraux.

L'atténuation des risques découlant des tsunamis comporte de nombreuses similarités avec les approches appliquées à d'autres dangers naturels puisqu'elle exige une connaissance du danger, de ses effets probables et de ce qui peut être fait pour réduire ces effets. Cependant, à bien d'autres égards, les tsunamis présentent leurs propres défis particuliers :

- Les tsunamis destructeurs sont des événements très rares. Depuis le dernier événement destructeur qui a eu lieu au Canada en 1964, toute une génération n'a jamais vécu pareil événement.
- L'absence de documents sur les effets locaux des tsunamis dans la plupart des régions côtières de la C.-B., fait en sorte qu'il est difficile pour les résidents de conceptualiser les risques d'impact des tsunamis et d'en déterminer les vulnérabilités associées.
- Par rapport à la conception et au génie en matière de protection antisismique, il n'existe aucune norme canadienne pour la conception de structures pouvant résister aux tsunamis.
- Les priorités nationales actuelles d'atténuation et d'alerte ciblent les zones urbaines. Cependant, même dans des zones peu densément peuplées, les pertes de vie possibles et les dommages éventuels aux propriétés et aux infrastructures sont très grands.
- Les régions côtières de la C.-B. présentent des histoires et des risques différents, des populations et des cultures diverses, ainsi que des économies, des structures institutionnelles et des enjeux divers. Il est peu probable qu'une stratégie unique d'atténuation pourra convenir à toutes les régions.

Historiquement, les efforts d'atténuation des risques au Canada n'ont pas été systématiquement proactifs, étant le plus souvent réactifs. Par exemple, un an avant le séisme de 1964 en Alaska, le Canada a choisi de retirer sa participation au Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique alors que, au même moment, de nombreuses communautés se retiraient des programmes locaux de protection civile. Le tsunami de 1964 en Alaska a amené le Canada à rétablir sa participation au système international d'alerte du Pacifique, à reconnaître les risques de tsunamis locaux et (de concert avec le PEP C.-B.) à participer par la suite au sous-système de la côte ouest coordonné par le centre d'alerte aux tsunamis pour la côte ouest et l'Alaska (*West Coast/Alaska Tsunami Warning Centre*). Avec le temps, cependant, dans la pratique les populations locales et les gouvernements ont eu tendance à abaisser graduellement le niveau de priorité accordé à la menace des tsunamis, dans nombre de cas.

Dans l'ensemble, des éléments semblent attester que le sous-système d'intervention présente certains des défis les plus difficiles pour des considérations en matière d'infrastructures, d'organisation et de politiques. Toutefois, comme on le souligne dans la littérature sur les pratiques exemplaires, un système d'alerte aux tsunamis convenablement intégré exige de tenir

compte d'une gamme étendue de considérations dans chacun des trois niveaux du réseau de diffusion. Par conséquent, le présent rapport énonce un ensemble de recommandations, classées selon le modèle de diffusion à trois niveaux, en mettant de l'avant une approche axée sur l'atténuation des risques qui vise à renforcer l'intégration du système dans son ensemble.

8.1 Niveau un : surveillance et détection

Des améliorations graduelles de la surveillance et de la détection de tsunamis en champ lointain ont été apportées depuis le dernier événement destructeur de 1964. Par exemple, le Service hydrographique du Canada a installé un petit nombre de marégraphes le long de la côte de la C.-B. dont la lecture peut être faite à distance en temps réel, afin de surveiller l'arrivée au rivage des vagues de tsunamis. Ce réseau contribue aux systèmes d'alerte pour les tsunamis en champ lointain, mais le Canada continue à s'appuyer principalement sur des partenaires internationaux pour la surveillance et la détection dans des zones étendues. Les tsunamis locaux restent problématiques pour la diffusion d'alertes en temps opportun.

Conclusions

Il est nécessaire :

- de maintenir et renforcer lorsque possible les engagements internationaux du Canada envers le Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique;
- d'envisager le déploiement d'une nouvelle technologie des communications lorsqu'elle permet des améliorations identifiables des actuelles activités de premier niveau;
- de commencer à élaborer une stratégie d'alerte et d'avertissement pour les tsunamis locaux dans toute la région côtière de la C.-B.

8.2 Niveau deux : gestion des urgences

Actuellement, les cartes des zones inondables ne sont pas facilement disponibles pour les planificateurs des communautés, des régions ou de la province. Les efforts actuels de cartographie des zones inondables sont principalement concentrés dans des communautés choisies de l'île de Vancouver. Étant donné les connaissances techniques spécialisées qui seraient requises, il est peu probable que les communautés locales possèdent toutes les compétences voulues pour produire leurs propres cartes des zones inondables sans l'aide d'un expert.

La majeure partie de la côte de la C.-B. menacée par des inondations en cas de tsunami est rurale et, dans bien des cas, peu peuplée. Ces régions ont généralement de la difficulté à concurrencer les régions plus populeuses pour obtenir de rares ressources d'atténuation et auront besoin d'aide supplémentaire afin de fournir les efforts d'atténuation des risques.

Conclusions

Les activités de cartographie des zones inondables doivent :

- être étendues à toutes les régions côtières peuplées et économiquement importantes menacées de la C.-B.;
- être institutionnalisées en vertu des stratégies d'atténuation fédérales et provinciales existantes afin d'en assurer la durabilité à long terme.

8.3 Niveau trois : intervention

Les capacités locales d'alerte sont extrêmement limitées dans les régions côtières de la C.-B. Une seule communauté utilise une sirène pour des alertes générales. À part la radio maritime, il n'y a pas de système d'alerte commun sur la côte qui permette de s'assurer que toutes les populations menacées peuvent être averties et de confirmer que les messages d'alerte ont été reçus et bien compris.

La capacité de radiodiffusion d'alertes locales est extrêmement limitée dans un grand nombre de régions côtières rurales et les plans de notification par téléphone peuvent également s'avérer problématiques dans les petites communautés en raison de la surcharge des réseaux téléphoniques locaux lors d'incidents majeurs. Les réseaux téléphoniques locaux ne sont généralement pas suffisants pour des situations d'urgence à l'échelle de la communauté, particulièrement pendant les saisons touristiques.

Conclusions

- Un examen de l'infrastructure de communications doit être entrepris afin d'identifier les capacités locales et les lacunes spécifiques dans la couverture. L'examen exigerait la participation de ministères du gouvernement fédéral, d'organismes provinciaux, de la communauté de l'enseignement et du secteur privé.
- Des rapports sur les exercices et les réunions tenus dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B. doivent être rédigés à intervalles réguliers.
- Le Comité régional des télécommunications d'urgence du Pacifique doit participer plus activement à l'élaboration et à l'implantation du système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.
- Un système d'alerte à codage numérique universel pour l'avertissement du public en C.-B. prévoyant spécifiquement les alertes aux tsunamis est nécessaire.
- Un ensemble d'objectifs et de mesures incitatives correspondantes visant à assurer des capacités d'alerte minimales pour toutes les communautés le long du littoral de la C.-B. est nécessaire.

Aucune technique d'intervention n'est en place pour les communautés de passage et éloignées, à l'exception des techniques qui ont été élaborées sur des bases volontaires et non coordonnées. L'industrie du tourisme sur la côte ouest amène plusieurs milliers de visiteurs de passage (qui ne parlent pas tous anglais) et des travailleurs temporaires qui sont susceptibles d'être vulnérables pendant leur séjour et qui devraient savoir quoi faire en cas de tsunami.

L'information sur les risques de tsunamis et les mesures appropriées à prendre doivent être transmises aux résidents, aux travailleurs (saisonniers et à l'année), aux visiteurs de la région et aux populations de passage, qui sont tous exposés de différentes manières aux dangers que présentent les tsunamis.

Conclusions

Au niveau provincial, les fonctionnaires doivent travailler de concert avec :

- les ministères pertinents pour organiser une campagne d'information en bout de piste dans le cadre d'un programme de communication des risques pour les régions récréatives vulnérables le long de la côte de la C.-B.
- les autorités locales pour encourager de plus importants programmes intermembres de recherche, d'éducation et de formation à l'appui de la formation de groupes de travail sur les tsunamis.
- les communautés locales pour élaborer un mécanisme d'évaluation continue des besoins des communautés côtières et pour l'évaluation du succès des programmes existants dans le cadre des stratégies nationale et provinciale plus globales d'atténuation. Cela est particulièrement important puisque le profil socio-économique des régions côtières continue à changer. Dans un grand nombre de régions côtières, il existe une occasion de s'inspirer de processus généraux déjà en place comme le *Rural Team British Columbia* et le *Coastal Community Network*.

En l'absence d'un système d'alerte efficace pour les tsunamis locaux, un programme spécial de sensibilisation et d'éducation concernant les risques de tsunamis ainsi qu'une intervention appropriée devraient être mis en oeuvre. Il devrait viser les résidents, les travailleurs (saisonniers et à l'année), les visiteurs de la région (en particulier les touristes) et les populations de passage, donc un grand nombre de personnes exposées de différentes manières aux dangers que présentent les tsunamis.

En fin de compte, une stratégie d'atténuation ne peut pas réussir sans l'appui des populations locales. Par conséquent, une stratégie réussie d'atténuation exige l'engagement des gouvernements et autres responsables locaux ainsi que des personnes et des secteurs de l'industrie, de la récréation et du tourisme dans les régions sujettes aux tsunamis.

Des objectifs à long terme d'atténuation doivent comprendre de meilleures pratiques d'aménagement et être intégrés aux plans directeurs officiels des municipalités et aux plans d'aménagement des districts régionaux pour les territoires non organisés. Des pratiques d'atténuation réussies reconnaîtront que chaque communauté est différente. Certaines sont isolées. Certaines sont gérées par des administrations locales, tandis que d'autres sont administrées par un bureau de district régional situé à plusieurs kilomètres. Certaines possèdent des services d'urgence, alors que d'autres n'en ont pas.

Conclusions

- Il est nécessaire d'élaborer un modèle provincial normalisé d'évaluation de programmes visant les tsunamis qui pourrait être basé sur les examens de programmes sur les tsunamis effectués par Foster en 1976 et Anderson en 2004. Ce modèle pourrait être appliqué à intervalles réguliers (cinq ou dix ans) pour évaluer l'état de préparation des communautés aux niveaux local, régional et provincial ainsi que pour mesurer l'utilité d'initiatives actives dans le cadre du programme sur les tsunamis.
- La boîte à outils d'analyse du risque et de la vulnérabilité (*Risk and Vulnerability Analysis (HRVA) Tool Kit*) du PEP de la C.-B. peut aider les communautés à effectuer des choix basés sur le risque pour aborder la vulnérabilité, pour atténuer les dangers et pour préparer l'intervention et le rétablissement à la suite de catastrophes. Une version spécialisée de cet outil logiciel faciliterait l'élaboration des stratégies d'atténuation et la préparation des plans d'intervention par les responsables locaux de la planification.
- Les autorités locales doivent travailler de concert à élaborer un programme éducatif commun de sensibilisation afin d'assurer que les résidents de chaque communauté comprennent les procédures associées aux bulletins de veille et aux alertes aux tsunamis.
- Il est nécessaire que les organismes fédéraux et provinciaux fournissent un appui soutenu et un meilleur accès à l'information sur les tsunamis par l'entremise des sites Web existants.
- Il faut revoir la législation existante pour assurer que des exigences minimales en matière de pratiques de réduction des risques que posent les tsunamis soient établies et respectées.

La sensibilisation du public au danger que pose les tsunamis et aux mesures sécuritaires à adopter lorsqu'un tsunami est attendu sont des éléments essentiels de l'atténuation des conséquences de ces phénomènes. Comme les tsunamis sont des événements naturels peu fréquents, les gens doivent recevoir une éducation constante pour pallier le manque d'expérience. Un soutien scientifique peut en outre s'avérer nécessaire pour l'application des concepts de modélisation ainsi que l'interprétation des cartes des zones inondables et des approches non représentées sur les cartes.

Le double rôle joué par de nombreux responsables de la gestion des urgences, qui cumulent souvent de multiples responsabilités (p. ex. services d'incendie, de recherche et sauvetage, des travaux publics, etc.), peut éventuellement constituer un problème dans un grand nombre de petites communautés. Dans ces circonstances, il est possible que ces personnes n'aient pas une idée claire de certaines de leurs responsabilités d'alerte à l'endroit du public ou encore qu'elles fassent peu de cas de l'importance de ces responsabilités face à des responsabilités concurrentes.

Conclusions

- Le transfert de connaissances de la communauté scientifique aux efforts locaux et régionaux de gestion et d'atténuation des risques de tsunamis est important, mais exige un appui des gouvernements fédéral et provincial.
- Un centre canadien d'échange d'information sur les tsunamis constituant un guichet unique d'accès aux ressources d'information et de planification relatives aux tsunamis serait utile.
- La création et la tenue à jour de programmes éducatifs sur les tsunamis ciblant des secteurs industriels comme le tourisme, les pêches, l'aquaculture et la foresterie sont nécessaires.
- Des modules de formations spécifiques sur les dangers des tsunamis doivent être élaborés conjointement.

Il y a beaucoup à apprendre des actuels efforts d'atténuation en cours dans les États américains voisins confrontés à des défis similaires à ceux qui doivent être relevés en Colombie-Britannique. Deux projets sont dignes de mention : 1) le *National Tsunami Hazard Mitigation Program* coordonné par la NOAA qui assure le financement pour la production de cartes des inondations causées par des tsunamis, pour l'élaboration et la mise en œuvre de programmes d'éducation et de préparation, ainsi que pour l'amélioration de l'avertissement grâce à l'installation de nouvelles stations sismiques et au déploiement d'un réseau de détecteurs de tsunamis en eau profonde et en temps réel; et 2) *TsunamiReady*, un service météorologique national (*National Weather Service*, NWS) qui fait la promotion d'une collaboration active entre des organismes de gestion des urgences du gouvernement fédéral, des États et des administrations locales et les systèmes d'alerte aux tsunamis du NWS.

Alors que l'élaboration d'une stratégie d'atténuation des risques de tsunamis aux États-Unis est en cours et que les résultats sont partagés avec des organismes canadiens fédéraux et provinciaux, il semble y avoir beaucoup moins de collaboration et d'interaction entre les autorités locales et les industries, d'une administration ou d'un pays à l'autre.

Conclusions

- Pour améliorer l'échange d'information et présenter les intervenants les uns aux autres, et surtout les planificateurs au niveau local, une conférence régionale et des ateliers à intervalles réguliers sur l'atténuation devraient être organisés. Parmi les occasions à retenir mentionnons la conférence annuelle de Vancouver sur les préparatifs d'urgence, le forum annuel de l'*Emergency Preparedness for Industry and Commerce Council* (surtout pour la planification par l'industrie), les événements spéciaux de l'union des municipalités de la C.-B. (*Union of B.C. Municipalities*) et d'autres.
- Un appui à l'utilisation et au parrainage de forums existants visant à atténuer les effets des séismes serait utile. À titre d'exemples, mentionnons le *Western States Seismic Policy Council* (WSSPC), un consortium régional en matière de séismes, et le *Cascadia Region Earthquake Workgroup* (CREW), un regroupement de représentants des secteurs public et privé travaillant de concert pour améliorer l'aptitude de la région de Cascadia à atténuer les effets des séismes.

9.0 Suggestions pour d'autres travaux de recherche

La présente section énonce trois grands domaines pour des recherches additionnelles basées sur les divers résultats de la présente étude. Ces suggestions se limitent aux domaines qui semblent présenter des lacunes importantes dans les connaissances, et sont détaillées dans les conclusions tirées de l'étude.

En plus de ces trois domaines, il faudra probablement augmenter le soutien à la recherche scientifique en vue de la modélisation du jet de rive des tsunamis et la cartographie des zones inondables pour les régions côtières de la C.-B. Une telle recherche permet d'obtenir les connaissances fondamentales nécessaires pour des initiatives de planification et de préparation dans tous les ordres de gouvernement et dans le secteur privé.

9.1 Infrastructure de communications

On connaît peu de détails sur les capacités de communication pour l'ensemble de la côte de la C.-B. L'évolution récente de la technologie, ainsi que des changements aux politiques des communications au Canada ont créé à la fois de nouvelles possibilités et de possibles contraintes pour les systèmes d'alerte. À ce titre, il y a un urgent besoin de poursuivre la recherche dans ce domaine afin de déterminer les moyens les plus appropriés pour transmettre les messages d'alerte aux populations locales.

Les résultats d'une telle étude offriraient des renseignements précieux sur les capacités des populations locales le long de la côte de la C.-B. en matière de communications, et pourraient constituer une précieuse contribution à l'initiative d'alerte du public d'Industrie Canada et à la conception du futur système d'alerte aux tsunamis de la C.-B.

9.2 État de préparation des communautés côtières

On sait peu de choses sur la sensibilisation aux tsunamis et les pratiques en matière de préparation dans les populations locales et, en particulier, dans les populations de passage et les nouvelles initiatives commerciales. À ce titre, il serait nécessaire d'effectuer une évaluation empirique détaillée des pratiques de réduction des risques qui tiendrait compte de facteurs comme la capacité de planification des mesures d'urgence et les calendriers d'exercices à l'échelle locale, l'existence et la tenue à jour de plans d'action écrits, les stratégies locales d'alerte et d'éducation du public, la planification des évacuations et la désignation d'endroits sécuritaires, la vulnérabilité des infrastructures essentielles, ainsi que les incidences économiques possibles.

Les résultats d'une telle évaluation pourraient fournir une information détaillée sur laquelle baser de futurs objectifs, ainsi que permettre d'identifier des priorités et d'établir des mesures de l'efficacité des stratégies d'atténuation et de préparation.

9.3 Devoir d'avertir

Il pourrait être prudent d'entreprendre un examen formel des obligations fédérales et provinciales en rapport avec le «devoir d'avertir» les résidents et les visiteurs des risques connus attribuables aux tsunamis, ainsi que des conditions minimales que l'on peut raisonnablement attendre des gouvernements lors de l'élaboration et de l'entretien d'un système public d'alerte.

Bibliographie et choix de références

Alaska. (2004). *Tsunami inundation scenarios for the Kodiak area, Alaska: City of Kodiak and vicinity*. Department of Natural Resources, Division of Geological and Geophysical Surveys. http://wwwdggs.dnr.state.ak.us/scan1/ri/oversized/RI02-01-SH1.SID. [Consulté le 12 janvier 2004].

Anderson, W. (1969). « Disaster Warning and Communication Processes in Two Communities. », *Journal of Communication*, 19(2), 92–104.

Aquaculture Fishwizard (2004) British Columbia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries et Pêches et Océans Canada. http://www.fishwizard.com/aqua/index.asp [Consulté le 26 février 2004]

ARA Consulting Group et Peter Williams, (2000). *Clayoquot Sound/Central Region Tourism Opportunities Study: A Process Towards Tourism Development*.

Atwater, B.F. et E. Hemphill-Haley (1997) *Recurrence intervals for great earthquakes of the past 3,500 years at Northwestern Willapa Bay, Washington*. USGS Professional Paper 1576, 108p.

Barlow, D.P. (1993). « Tsunami Hazards: Background to Regulation. » British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Floodplain Management Branch. Victoria.

Barlow, D.P. (1995) *Tsunami – Annotated Bibliography* – version 5, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Floodplain Management Branch. Victoria. http://wlapwww.gov.B.C.ca/wat/flood/info/anotsu.html [Consulté le 26 janvier 2004]

Beaulieu, J. D. (2001). *Tsunami Warning Systems and Procedures: Guidance for Local Officials* (Special Paper 35): Oregon Department of Geology and Mineral Industries.

British Columbia (2002) B.C. Seafood Charts and Graphs, Fisheries Statistics, Ministry of Agriculture, Food & Fisheries. http://www.agf.gov.B.C.ca/fish_stats/Graphs/main.htm [Consulté le 16 février 2004]

British Columbia (2002) « Seafood Processing. » Fisheries Statistics, Ministry of Agriculture, Food & Fisheries, Government of British Columbia, website: www.agf.gov.B.C..ca/fish_stats/statistics-fishproc.htm [Consulté le 16 février 2004]

British Columbia. Provincial Emergency Program. (2001). *British Columbia Tsunami Warning and Alerting Plan* (éd. 2001). Victoria: British Columbia Ministry of Attorney General.

British Columbia. Provincial Emergency Program. (2002a). *Provincial Emergency Program Strategic Objectives*. Victoria.

British Columbia. Provincial Emergency Program. (2002b, Aug. 3). *Tsunami Mitigation at the Local Level*. Présentations d'une nouvelle initiative du PEP à des communautés « pilotes ».

British Columbia. (1964). « Tidal Wave. » *Civil Defence Circular*. 64. Victoria: British Columbia Department of the Provincial Secretary.

British Columbia. (2001). *Tourism Opportunity Strategy for the Mid Coast Forest District of British Columbia*. Ministry of Small Business, Tourism & Culture. http://www.centralcoastB.C.com/ [Consulté le 16 janvier 2004].

British Columbia. (2001).*British Columbia's Fish Product and Seafood Industry in the 1990's*. B.C. Stats, Ministry of Finance and Corporate Relations. http://www.B.C.stats.gov.B.C.ca. [Consulté le 18 février 2004].

British Columbia. (2003a). *Effects of the Tsunami in the Alberni Inlet caused by the 1964 Alaska Earthquake*. Provincial Emergency Program. http://www.pep.B.C.ca/hazard_preparedness/tsunami_preparedness.html [Consulté le 17 janvier 2004].

British Columbia. (2003b). *Tourism Sector Monitor*. B.C. Stats. of Finance and Corporate Relations. http://www.B.C.stats.gov.B.C.ca. [Consulté le 12 février 2004].

British Columbia. (2003c).*The Forestry Revitalization Plan*, The B.C. Heartlands Economic Strategy. Ministry of Forests http://www.for.gov.B.C..ca/mof/plan/frp/summary.pdf [Consulté le 20 février 2004].

British Columbia. (2004) « Offshore Map Gallery ». Ministry of Energy and Mines, Offshore Oil and Gas. http://www.offshoreoilandgas.gov.B.C..ca/offshore-map-gallery/ [Consulté le 27 février 2004].

British Columbia. (2004). *Landslides in British Columbia*. Victoria: Ministry of Energy & Mines, Geological Survey Branch http://www.em.gov.B.C.ca/Mining/Geolsurv/Surficial/landslid/default.htm [Consulté le 26 janvier 2004].

Burby, R. J. et F. Wagner (1996). « Protecting Tourists from Death and Injury in Coastal Storms ». *Disasters*, 20(1), 49–60.

Canada. (2001). *Canada National Report for the Eighteenth Session of the International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ITSU-XVIII)*. Cartagène, Colombie: Commission océanographique intergouvernementale (de l'UNESCO).

Canada. (2003). *Canada National Report for the Nineteenth Session of the International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ITSU-XIX)*. Commission océanographique intergouvernementale (de l'UNESCO).

Canada. (2001). *Sommaire. Rapport final sur les délibérations des intervenants lors des ateliers de mai 2002*. Sécurité publique et Protection civile Canada. http://www.ocipep.gc.ca/NDMS/index_f.asp [Consulté le 15 février 2004].

Clague, J.J. (1997). « Evidence for large earthquakes at the Cascadia subduction zone ». *Reviews of Geophysics*, vol. 35, p. 439–460.

Clague, J.J. (2001) « Tsunamis », dans *A Synthesis of Geological Hazards in Canada*. G.R. Brooks (éditeur) Commission géologique du canada, Bulletin 548, p.27–42.

Clague, John J., Adam Munro, et Tad. Murty (2003) « Tsunami Hazard and Risk in Canada », *Natural Hazards*, 28: 433–461.

Commission géologique du Canada (2003). « Cascadia Zone Slip Event Detected ». http://www.pgc.nrcan.gc.ca/geodyn/docs/slip/cascadia_slip.pdf [Consulté le 3 février 2004].

Commission océanographique intergouvernementale. (2001). *Eighteenth Session of the International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ICG/ITSU-XVIII)* (trousse d'information préliminaire sur les tsunamis). Cartagène, Colombie: UNESCO.

Commission océanographique intergouvernementale. (2003). *Nineteenth Session of the International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ICG/ITSU-XIX) Canadian National Report*, Wellington, Nouvelle-Zélande : UNESCO.

Dengler, Lori (1998). « Strategic Implementation Plan for Tsunami Mitigation Projects ». NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-113.

Dobson, Suzanne (éd.) (5 au 7 décembre 2002). Compte rendu des ateliers, *Policy Directions for Coastal Tourism*. Université Simon Fraser, Vancouver, British Columbia, Canada http://www.sfu.ca/coastalstudies/linking/pdf/Tourism.pdf [Consulté le 22 février 2004].

Dragert, Herb, Kelen Wang et Thomas, S. James (2001). « A Silent Slip Event on the Deeper Cascadia Subduction Interface ». *Science*, 292, 1525–1528.

Dragert, H. et G.C. Rogers (1988). « Could a megathrust earthquake strike southern British Columbia? » *GEOS*, 17(3), 5–8.

Dragert, Herbert (2004). Centre géoscientifique du Pacifique, Commission géologique du Canada. Correspondance électronique avec Peter Anderson, 3 février 2004.

Dunbar, D., P.H. LeBlond et T.S. Murty (1989). « Maximum tsunami amplitudes and associated currents on the Coast of British Columbia ». *Science of Tsunami Hazards*. 7, 3–44.

Foster, H. D. et V. Wuorinen (1976). « British Columbia's Tsunami Warning System: An evaluation ». *Syesis*(9), 113–122.

Geertsema, Marten. « The Record of Tsunami in the Pacific Northwest ». http://www.emporia.edu/earthsci/student/geert1/tsunami.htm [Consulté le 26 janvier 2004]

Greenberg, David A., T.S. Murty, Fuffman. (1993) « Modeling the Tsunami From the 1917 Halifax Harbour Explosion ». *Science of Tsunami Hazards*, 11, 67–80.

Handmer, J. (2002). « Flood warning reviews in North America and Europe: statements and silence ». *Australian Journal of Emergency Management*, 17(3), 17–24.

Heaton, T. et H. Kanamori (1984). « Seismic potential associated with subduction in the northwestern United States ». *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(3), 933–941.

Heaton, T. et S.H Hartzell (1897). « Earthquake hazards on the Cascadia subduction zone ». *Science*, 236, 162–168.

Holden, Brendan (1995). *Tsunami Flood Levels Port Alberni, British Columbia: A discussion Paper*. British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Water Management Program.

Holliday, April. (2002) « Lake water can slosh like bathtub water ». Wonderquest, *USA Today*, 15 mai 2002. http://www.wonderquest.com/seiche.htm [Consulté le 26 janvier 2004]

Holliday, April. (2003) « Tsunami! In a river? », Wonderquest, *USA Today*, 3 mai 2003, http://www.usatoday.com/news/science/wonderquest/2002-05-01-river-tsunami.htm [Consulté le 26 janvier 2004]

Hutchinson, Ian et Alan. D. McMillan (1997) « Archaeological Evidence for Village Abandonment Associated with Late Holocene Earthquakes at the Northern Cascadia Subduction Zone ». *Quaternary Research* 48, 79–87.

Industrie Canada. (20 oct. 2003). *Public Alerting in Canada: Situation Analysis*.

International Tsunami Survey Team (ITST). (1998) *Preliminary Report on the Tsunami Caused by the Sissano Earthquake at West Sepik, PNG on 17 July 1998*.

Jervis, M. (1990). « Tsunami Warning! », *Emergency Preparedness Digest*. (17), 14–16.

Kelsey, H.M., R.C. Witter et E. Hemphill-Haley (2002). *Plate-boundary earthquakes and tsunamis of the past 5500 yr, Sixes River estuary Oregon*. Geological Society of America. Bulletin 114, 298–314.

McMillan, Alan D., Ian Hutchinson (2002). « When the Mountain Dwarfs Danced: Aboriginal Traditions of Paleoseismioc Events along the Cascadia Subduction Zone of Western North America ». *Ethnohistory*. 49: I, 41–68.

Mileti, D. et L. Peek (2000). « The Social Psychology of Public Responses to Warnings of a Nuclear Power Plant Accident ». *Journal of Hazardous Materials*. (75), 181–194.

Ministère des Pêches et des Océans – Garde côtière (Région du Pacifique). (2004). Tsunami Warning Procedure for Marine Communications and Traffic Services (MCTS) Centres.

Molino, S. (2002a). « Bells and whistles, belts and braces – designing an integrated flood warning system for the Hawkesbury-Nepean Valley: Part 1 ». *Australian Journal of Emergency Management*, 17(1), 55–59.

Molino, S. (2002b). « Bells and whistles, belts and braces – designing an integrated flood warning system for the Hawkesbury-Nepean Valley: Part 2 ». *Australian Journal of Emergency Management*, 17(2), 40–49.

Murty, T.S. et P.B. Crean (1986). « Numerical Simulation of the Tsunami of June 23, 1946 in British Columbia, Canada ». *Science of Tsunami Hazards*. 4, 15–24.

Myles, Douglas. (1985). *The Great Waves*. McGraw Hill. New York.

Ng, M.K.-F., LeBlond, P.H. et T.S. Murty (1990). « Numerical simulation of tsunami amplitudes on the coast of British Columbia due to local earthquakes ». *Science of Tsunami Hazards*. 8, 97–127.

Nicolson, David. (1998). *Nootka Sound Forest Recreation and Tourism Opportunities Study*. Clover Point Cartographics Ltd.

NOAA. (2002a) National Geophysical Data Center, Tsunami Event Database (base de données), Colorado. http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsevsrch.shtml [Consulté le 28 janvier 2004]

NOAA. (2002b) National Geophysical Data Center, « World-Wide Tsunamis 200 B.C – 1996 », Colorado. http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsuintro.shtml [Consulté le 28 janvier 2004].

NOAA. (2003) West Coast/Alaska Tsunami Warning Center Tsunami Travel Time Maps. West Coast & Alaska Tsunami Warning Center. http://wcatwc.arh.noaa.gov/web_tsus/pastaor_tsunamis.htm [Consulté le 28 janvier 2004].

O'Gorman, D., P. Hein et W. Leiss. (30 juin 2003). « Parks Canada Backcountry Avalanche Risk Review ». Tiré de http://leiss.ca/articles/127 en janvier 2004.

Organisation mondiale du tourisme. (2003). *Tourism 2020 Vision – Global Forecast and Profiles of Market Segments*. http://www.world-tourism.org.

Paine, Michael. (1999) « Tsunami from Asteroid/Comet Impacts ». http://www1.tpgi.com.au/users/tps-seti/spacegd7.html#impacts [Consulté le 26 janvier 2004]

Perry, R. W. et M. K. Lindell (1997). « Aged Citizens in the Warning Phase of Disasters: Re-examining the Evidence ». *International Journal of Aging and Human Development*, 44(4), 257–267.

Poon, Auliana. (non daté). « Reinventing Tourism ». Tourism Intelligence International. http://www.tourism-intelligence.com/reinventing.htm. [Consulté le 14 février 2004].

Preuss, J. (1988). « Planning for Risk: Comprehensive Planning for Tsunami Hazard Areas (Summary) », dans Dengler, Lori (éditeur), *Strategic Implementation Plan for Tsunami Mitigation Projects*. NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-113

PricewaterhouseCoopers (2001). *State of the B.C. Seafood Industry Report*. http://www.B.C.seafoodalliance.com/B.C.SA/PWCSummitReport.pdf [Consulté le 16 février 2004].

Project Impact – Regional Hazards –Tsunami & Seiches. http://www.cityofseattle.net/projectimpact/pages/pioverview/regionalhazards/tsunami.htm [Consulté le 26 janvier 2004].

Quesnel and District Museum & Archives. (2003). The Gold Rush Trail – Spences Bridge. http://www.city.quesnel.B.C..ca/Grtrail/pg12.html [Consulté le 26 janvier 2004].

Rogers, G.C. (1988). « An assessment of the megathrust earthquake potential of the Cascadia subduction zone ». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15(6), 844–852.

Rogers, Garry et Herb Dragert (2003). « Episodic Tremor and Slip on the Cascadia Subduction Zone: The Chatter of Silent Slip ». *ScienceExpress*, 1–2/10.1126/science.1084783.

Satake, K., K. Shimazaki, Y. Tsuji (1995). « A possible Cascadia earthquake of January 26, 1700, as inferred from tsunami records in Japan » : résumé présenté à la réunion de l'Association géologique du Canada en 1995.

Sorensen, J. (2000). « Hazard Warning Systems: Review of 20 Years of Progress ». *Natural Hazards Review*, 1, 119–125.

The National Tsunami Hazard Mitigation Program. Tsunami: Frequently Asked Questions, http://www.pmel.noaa.gov/tsunami-hazard_faqs.htm [Consulté le 6 juin 2003].

United States. National Science and Technology Council. (2000). « Effective Disaster Warnings »: Working Group on Natural Disaster Information Systems, Sub-Committee on Natural Disaster Reduction.

Université de Washington. (2003). « 1946 Aleutian Tsunami ». Site Web du Geophysics Program. http://www.geophys.washington.edu/tsunami/general/historic/aleutian46.html [Consulté le 15 juin 2003].

USC Tsunami Research Group. (non daté). « 1958 Lituya Bay Tsunami ». University of Southern California. http://www.usc.edu/dept/tsunamis/alaska/1958/webpages/index.html. [Consulté le 28 janvier 2004].

USC Tsunami Research Group. (non daté). « The 1868 Arica Tsunami », University of Southern California. http://www.usc.edu/dept/tsunamis/peru/ptsu_1868.html [Consulté le 28 janvier 2004].

Vodden, Kelly, John Pierce et Doug House (2002). *Offshore Oil and Gas and the Quest for Sustainable Development: A Rural Development Perspective*. Centre for Coastal Studies, Université Simon Fraser. http://www.sfu.ca/coastalstudies/linking/pdf/voddenoandgpaper.pdf [Consulté le 19 février 2004].

Waite, Donald E. (2000). *The Langley Story Illustrated: An Early History of The Municipality of Langley*. http://www.fortlangley.ca/langley/4rail.html [Consulté le 3 février 2004].

« What are tsunamis? » (2004). Natural Hazards.Org. http://www.naturalhazards.org/investigate/tsunamis/ [Consulté le 26 janvier 2004].

White, W.R.H. (1966). « The Alaska Earthquake – Its Effect in Canada ». *Canadian Geographic Journal*, 210–219.

Williams, Harry F.L., Ian Hutchinson, Alan R. Nelson (2003). « Multiple sources for late Holocene tsunamis at Discovery Bay, Washington, USA ». *The Holocene*.

Yoshii, H. (1990). « Responses to a Japanese Tsunami Warning and Lessons for Planning Countermeasures ». *Disaster Management*, (3), 90–93.